

14096

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

PİRİNC KABUĞU KÖLÖNÖN PUZZOLANİK ÖZELİKLERİ

VE KÖLÖN ÇİMENTO HARCININ DAYANIKLILIĞINA ETKİSİ
T. C.

Yükseköğretim Kurulu
Dokümantasyon Merkezi

DOKTORA TEZİ

Yük.Müh. Fahriye MAZLUM

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 9 Ekim 1989

Tezin Savunulduğu Tarih : 27 Aralık 1989

Tez Danışmanı : Prof.Dr. Mehmet UYAN

Diğer Jüri Üyeleri : Prof.Dr. Ferruh KOCATAŞKIN

Doç.Dr. Turan ÖZTÜREN

ARALIK 1989

ÖNSÖZ

Tezimi yöneten, araştırma süresince yakın ilgi ve desteğini gördüğüm Hocam Sayın Prof.Dr.Mehmet UYAN'a,

Araştırmada bilgi ve görüşlerinden yararlandığım Hocam Sayın Prof.Dr.Süheyl AKMAN'a, Doc.Dr. Abdurrahman GÖNER'e,

Yapı Malzemesi Çalışma Grubu Koordinatörü Hocam Sayın Prof.Dr. Ferruh KOCATAŞKIN'a,

Araştırmanın ilk aşamasında gösterdikleri ilgi nedeniyle MA-PA A.Ş. ve Fab.Md.Sayın İbrahim TOPÇU'ya

Deneyisel çalışmalar için gerekli malzemelerin temininde ve laboratuvarlarından yararlandığım Nuh Çimento San.A.Ş. ve Ak Çimento SA Sanayii A.Ş. Sayın Müdür, Şef ve Yardımcılarına,

Maddi katkılarından dolayı İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Araştırma Fonu'na,

Şekillerin çizilmesinde gösterdiği özen nedeniyle Nuh Çimento Sanayi A.Ş. Teknik Resim Atölyesi çalışanlarına,

Tezin yazılmasında gösterdiği titizlik ve çabukluktan dolayı Sayın Zekiye ŞERMET'e teşekkürü borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	ii
İÇİNDEKİLER	iii
NOTASYON LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
TABLO LİSTESİ	x
TÖRKÇE ÖZET	xii
SUMMARY	xiii
BÖLÖM 1. GİRİŞ	1
1.1 . Genel Bilgiler	3
1.1.1. Puzzolanlar	3
1.1.1.1. Doğal Puzzolanlar	3
1.1.1.1.1. Killler ve Tortul Şistler	4
1.1.1.1.2. Opalinler	4
1.1.1.1.3. Volkanik Tüfler ve Sünger Taşları	5
1.1.1.2. Yapay Puzzolanlar	5
1.1.1.2.1. Yüksek Fırın Curufu	6
1.1.1.2.2. Uçucu Kül	6
1.1.1.2.3. Silis Dumanı	6
1.1.1.2.4. Pirinç Kabuğu Külü	8
1.1.2. Puzzolanik Aktivite	8
1.1.3. Silis, Doğada Bulunuşu, Allotropik Halleri	9
1.1.4. Pirinç Kabuğu	10
1.1.4.1. Pirinç Kabuğunun Yapısı, Bileşimi	10
1.1.4.2. Pirinç Kabuğunun Özellikleri	13
1.1.4.3. Pirinç Kabuğunun Kullanıldığı Yerler	13
1.1.4.4. Pirinç Kabuğunun Yakma İşlemi	14
1.1.5. Pirinç Kabuğu Külü	16
1.1.5.1. Pirinç Kabuğu Külünün Yapısı, Bileşimi	16
1.1.5.2. Pirinç Kabuğu Külünün Özellikleri	18
1.1.5.3. Pirinç Kabuğu Külünün Kullanıldığı Yerler	19
1.1.6. Dayanıklılık (=Dürabilite)	20
1.1.7. Zararlı Ortamın Betona Etkisi	22
1.1.8. Puzzolanların Betonun Dayanıklılığına Etkisi	26
1.2. Konu İle İlgili Çalışmalar	27
1.3. Araştırmanın Amacı ve Gerekçesi	29
1.4. Araştırmanın Kapsamı	30
BÖLÖM 2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	32
2.1. Kullanılan Malzemeler	32
2.1.1. Kum	32
2.1.2. Çimento	33
2.1.3. Puzzolanlar	34

2.1.3.1. Pirinç Kabuğu Külü	45
2.1.3.2. Silis Dumanı	51
2.1.3.3. Uçucu Kül	51
2.1.3.4. Curuf	52
2.1.3.5. Tras	52
2.1.4. Süperplastifiyan	52
2.2. Harç Karışımları	53
2.2.1. Üretilen Harçların Çeşitleri	53
2.2.2. Üretilen Harçların Kodlanması	54
2.2.3. Harç Üretim Şekli, Numune Boyutları, Saklama Koşulları	54
2.3. Deneyler	55
2.3.1. Taze Harç Deneyleri	55
2.3.2. Sertleşmiş Harç Deneyleri	56
2.3.2.1. Eğilme Deneyi	56
2.3.2.2. Basınç Deneyi	57
2.3.2.3. Ağırlık Değişimi	57
2.3.2.4. Boy Değişimi	57
2.3.2.5. Kılcalılık Deneyi	58
2.3.2.6. Su Emme ve Birim Ağırlık Deneyi	58
2.3.3. X-Işını Difraktometresi İncelemesi	59
2.3.4. Elektron Mikroskobu İncelemesi	59
BÖLÜM 3. DENEY SONUÇLARI	60
3.1. Taze Harç Deney Sonuçları	60
3.2. Sertleşmiş Harç Deneyi Sonuçları	60
3.2.1. Eğilme Dayanımı Deneyi Sonuçları	60
3.2.2. Basınç Dayanımı Deneyi Sonuçları	60
3.2.3. Ağırlık Değişimi Sonuçları	64
3.2.4. Boy Değişimi Sonuçları	66
3.2.5. Kılcalılık, Su Emme Deneyi Sonuçları	66
3.3. X-Işını Difraktometresi Sonuçları	69
3.4. Elektron Mikroskobu Sonuçları	71
BÖLÜM 4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ VE İRDELENMESİ	72
4.1. Taze Harç Özelliklerinin Değerlendirilmesi ve İrdelenmesi	72
4.2. Sertleşmiş Harç Özelliklerinin Değerlendirilmesi ve İrdelenmesi	72
4.2.1. Basınç Dayanımı Özelliklerinin Değerlendirilmesi ve İrdelenmesi	73
4.2.2. Eğilme Dayanımı Özelliklerinin Değerlendirilmesi ve İrdelenmesi	75
4.3. Dayanıklılık (=Dürabilite) Özelliklerinin Değerlendirilmesi ve İrdelenmesi	78
4.3.1. Kararlılık Durumunun Değerlendirilmesi ve İrdelenmesi	78

4.3.1.1. Ağırlık Değişimleri	78
4.3.1.2. Boy Değişimleri	86
4.3.2. Boşluk Durumunun Değerlendirilmesi ve İrdelenmesi	93
4.3.2.1. Kılcallık, Su Emme, Birim Ağırlık	93
4.3.2.2. Mikroyapı İncelenmesi	99
4.3.3. Dayanım Değişiminin Değerlendirilmesi ve İrdelenmesi	105
4.3.3.1. Basınç Dayanımı Değişimi	105
4.3.3.2. Eğilme Dayanımı Değişimi	108
BÖLÜM 5. SONUÇLAR	112
KAYNAKLAR	117
EKLER	124
ÖZGEÇMİŞ	130
YAYINLARI	131



NOTASYON

- Y : Yayılma
D' : Son ϕ ap (mm)
D : İlk ϕ ap (mm)
 f_{CE} : Eğilme dayanımı (N/mm²)
 P_K : Kırılma yükü (N)
l : Mesnetler arası açıklık (mm)
b : Prizma kesitinin boyutu (mm)
 W_D : Ağırlık değişimi (%)
 W_t : t ci süredeki ağırlık (g)
 W_0 : Başlangıçtaki ağırlık (g)
 l_D : Boy değişimi (μ /mm)
 l_t : t ci süredeki boy (mm)
 l_0 : Başlangıçtaki boy (mm)
K : Kılcallık katsayısı (cm²/san)
Q : Emilen su miktarı (cm³)
A : Su emdirilen yüzey (cm²)
t : Geçen süre (saniye)
 S_h : Hacımca su emme değeri (%)
 W_1 : Numunenin kuru ağırlığı (g)
 W_2 : Numunenin su emmiş halde havadaki ağırlığı (g)
 W_3 : Numunenin su emmiş halde su içindeki ağırlığı (g)
 Δ : Birim ağırlık (g/cm³)
 λ : Monokromatik dalga boyu
d : Rediküler uzaklık
 θ : Işın gelme açısı

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 1-1 Kuartzın kristal yapısı	10
Şekil 1-2 Pirinç kabuklarının X-ışını difraktoğramı	12
Şekil 1-3 Pirinç kabuklarının elektron mikroskopundaki görünüşü	12
Şekil 1-4 Pirinç kabuğu külünün elektron mikroskopundaki görünüşü	17
Şekil 2-1 Çimento ve Puzzolanların granülometrisi	36
Şekil 2-2 TS 26'ya göre puzzolanların CaO-OH^- çözünürlük eğrisi	42
Şekil 2-3 Katkısız çimento ve puzzolanlı çimentoların hidrasyon ısı	43
Şekil 2-4 Pirinç kabuğu külü (M ve C) ve silis dumanı (D) x-ışınları difraktogramı	44
Şekil 2-5 LPG ile çalışan kabuk yakma fırını	47
Şekil 2-6 Numunelerin Na_2SO_4 etkisinde bırakıldığı düzenek	55
Şekil 2-7 Boy değişim ölçme aleti	58
Şekil 4-1 Su içinde bekleyen harçların basınç dayanımının zamanla değişimi	73
Şekil 4-2 Su İçinde Bekleyen Harçların 0-12 Haftalık Basınç Dayanımının Kül Miktarı ile Değişimi	73
Şekil 4-3 Su İçinde Bekleyen Harçların Basınç Dayanımının 12'ci Kür Haftasında Kül Miktarı ile Değişiminin M ve C Serisi Yönünden Karşılaştırılması	75
Şekil 4-4 Su İçinde Bekleyen Harçların Eğilme Dayanımının Zamanla Değişimi	76
Şekil 4-5 Su İçinde Bekleyen Harçların 0-12 Haftalık Eğilme Dayanımının Kül Miktarı ile Değişimi	76
Şekil 4-6 Su İçinde Bekletilen Harçların Eğilme Dayanımının 12'ci Kür Haftasında Kül Miktarı ile Değişiminin M ve C Serisi Yönünden Karşılaştırılması	77
Şekil 4-7 Harçların Bir Günlük Birim Ağırlıklarının Kül Miktarı ile Değişimi	79

Şekil 4-8	Harçlarda Üretimden Sonraki 28'ci Güne Kadar Ağırlık Artışının Zamanla Değişimi	80
Şekil 4-9	Su İçinde Bekletilen Harçların 0-12'ci Kür Haftalarında 28'ci Güne (Kür başlangıç haftası-0-) Göre Ağırlık Değişimi	81
Şekil 4-10	Sülfat Çözeltisinde Bekletilen Harçların 0-12'ci Kür Haftalarında 28'ci Güne Göre Ağırlık Değişimi	82
Şekil 4-11	Su ve Sülfat Çözeltisinde Bekletilen Harçların 0-12'ci Kür Haftalarında 28'ci Güne Göre Ağırlık Değişimi	84
Şekil 4-12	Havada Bekletilen Harçların Ağırlık Kaybı	85
Şekil 4-13	Harçlarda Üretimden Sonraki 28'ci Güne Kadar Boy Artışının Zamanla Değişimi	86
Şekil 4-14	Su İçinde Bekletilen Harçların 0-12'ci Kür Haftalarında 28'ci Güne Göre Boy Değişimi	87
Şekil 4-15	Sülfat Çözeltisinde Bekletilen Harçların 0-12'ci Kür Haftalarında 28'ci Güne Göre Boy Değişimi	88
Şekil 4-16	Su ve Sülfat Çözeltisinde Bekletilen Şahit Harcın 0-12'ci Kür Haftalarında 28'ci Güne Boy Artışı	90
Şekil 4-17	Su ve Sülfat Çözeltisinde Bekletilen Harçların 0-12'ci Kür Haftalarında 28'ci Güne Göre Boy Artışı	91
Şekil 4-18	Havada Bekletilen Harçların Pötresi	92
Şekil 4-19	Su İçinde Bekletilen Harçlarda Kılcallık Katsayısının Kül Miktarı ve Kür Süresi ile Değişimi	94
Şekil 4-20	Sülfat Çözeltisinde Bekletilen Harçların Kılcallık Katsayısının Kül Miktarı ile Değişimi	95
Şekil 4-21	Su ve Sülfat Çözeltisinde Bekletilen C Serisi Harçlarda Kılcallık Katsayısının Kül Miktarı ve Kür Süreleri ile Değişimi	95
Şekil 4-22	Harçların Hacımca Su Emme Değerinin 4 ve 12'ci Kür Haftalarında Kül Miktarı ile Değişimi	96
Şekil 4-23	Su ve Sülfat Çözeltisinde Bekletilen Harçların Hacımca Su Emme Değerinin 4 ve 12'ci Kür Haftalarında Kül Miktarı ile Değişimi	97
Şekil 4-24	Su İçinde Bekletilen Harçların Birim Ağırlıklarının Kül Miktarı ve Kür Süresi ile Değişimi	98

Şekil 4-25	Sülfat Çözeltisinde Bekletilen Harçların Birim Ağırlıklarının Kül Miktarı ve Kür Süresi ile Değişimi	98
Şekil 4-26	Harçların 12 Haftalık Kür Sonundaki Birim Ağırlıklarının Kül Miktarı ile Değişiminin Su ve Sülfat Çözeltisine Göre Karşılaştırılması	99
Şekil 4-27	Su İçinde Bekletilen Şahit ve M Serisi Harçların Difraktogramları (12 Hafta)	100
Şekil 4-28	Su İçinde Bekletilen C Serisi Harçların Difraktogramları (12 Hafta)	101
Şekil 4-29	Sülfat Çözeltisinde Bekletilen Şahit ve M Serisi Harçların Difraktogramları (12 Hafta)	102
Şekil 4-30	Sülfat Çözeltisinde Bekletilen C Serisi Harçların Difraktogramları (12 Hafta)	103
Şekil 4-31	Sülfat Çözeltisinde Bekleyen Harçların Basınç Dayanımının Zamanla Değişimi	105
Şekil 4-32	Sülfat Çözeltisinde Bekleyen Harçların Basınç Dayanımının Kül Miktarı ile Değişimi	106
Şekil 4-33	12'ci Kür Haftasında Harçların Basınç Dayanımının Kül Miktarı ile Değişiminin M-C ve Su-Sülfata Göre Karşılaştırılması	107
Şekil 4-34	Su ve Sülfat Çözeltilerinde Bekletilen Harçların 0 ve 12'ci Kür Haftalarında Basınç Dayanımının Kül Miktarı ile Değişimi	107
Şekil 4-35	Sülfat Çözeltisinde Bekletilen Harçların Eğilme Dayanımının Zamanla Değişimi	108
Şekil 4-36	Sülfat Çözeltisinde Bekletilen Harçların Eğilme Dayanımının Kül Miktarı ile Değişimi	108
Şekil 4-37	12'ci Kür Haftasında Harçların Eğilme Dayanımının Kül Miktarı ile Değişiminin M-C ve Su-Sülfata Göre Karşılaştırılması	109
Şekil 4-38	Su ve Sülfat Çözeltilerinde Bekletilen Harçların 0 ve 12'ci Kür Haftalarında Eğilme Dayanımının Kül Miktarı ile Değişimi	110

TABLOLARIN LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 1-1	Türkiye ve Diğer Ülkelerin 1981-85 Yılları Arasındaki Çeltik Üretimi (.1000 MT)	11
Tablo 1-2	Pirinç Kabuğu Külünün Kimyasal Bileşiminin (%) Değişim Aralığı	18
Tablo 2-1	Standart Kumun Granülometrisi	32
Tablo 2-2	Çimentonun Fiziksel ve Mekanik Özellikleri	33
Tablo 2-3	Çimentonun Kimyasal Analizi, Modüller ve Mineralojik Bileşenler	34
Tablo 2-4	Puzzolanların ve Çimentonun Granülometrisi	35
Tablo 2-5	Puzzolanların Fiziksel Özellikleri	35
Tablo 2-6	Puzzolanların Kimyasal Analizi	37
Tablo 2-7	Küllerdeki Nem, Uçucu Madde, Sabit Karbon, Kül ve Karbon Miktarları	37
Tablo 2-8	TS 25 ve TS 639'a Göre Üretilen Harç Karışımları (Puzzolanik Aktivite Harçları (g))	38
Tablo 2-9	TS 25'e Göre Puzzolanların Puzzolanik Aktivitesi	39
Tablo 2-10	TS 639'a Göre Puzzolanlı Harçların Mekanik Dayanımları (Puzzolan kum yerine katılmıştır)	40
Tablo 2-11	TS 639'a Göre Puzzolanların Puzzolanik Aktivitesi	40
Tablo 2-12	TS 26'ya Göre Puzzolanik Aktivite Deneyinde Bulunan CaO ve OH ⁻ Değerleri	41
Tablo 2-13	Katkısız Çimento ve Puzzolanlı Çimentoların Hidratasyon Isısı (cal/g)	43
Tablo 2-14	Pirinç Kabuğunun Özellikleri	45
Tablo 2-15	Harç Karışımları	53
Tablo 2-16	Harçların Kodları	54
Tablo 3-1	Taze Harçlarda Yayılma ve Birim Ağırlık	60
Tablo 3-2	Su İçinde Bekleyen Harçlarda Basıncı ve Eğilme Deneyi	60
Tablo 3-3	Sülfat Çözeltisinde Bekleyen Harçların Basıncı ve Eğilme Deneyi	60

Tablo 3-4	Sertleşmiş Harçların Bir Günlük Birim Ağırlıkları	64
Tablo 3-5	Su ve Sülfat Çözeltisinde Bekletilen Harçların Ağırlık Değişimi	65
Tablo 3-6	Havada Bekletilen Harçlarda Ağırlık ve Boy Değişimi	67
Tablo 3-7	Su ve Sülfat Çözeltisinde Bekletilen Harçların Boy Değişimi	68
Tablo 3-8	Su ve Sülfat Çözeltisinde Bekletilen Harçların 4 ve 12'ci Kür Haftalarında Kılcallık Katsayısı, Hacımca Su Emme, Birim Ağırlık Deneyleri	70
Tablo 3-9	Su ve Sülfat Çözeltisinde Bekletilen Harçların X-Işını Difraktogramı Sonuçları	



ÖZET

Günümüzde sanayileşme ve şehirleşmenin sonucu olarak inşaat sanayii gelişmekte, buna bağlı olarak çimento üretimi ve çeşidi artmaktadır. Çimento üretiminde puzzolanların kullanımı da gün geçtikçe önem kazanmaktadır. Tras gibi doğal puzzolanların yanısıra, silis dumanı, uçucu kül, curuf gibi endüstriyel atıklardan yapay puzzolan olarak çimento üretiminde yararlanılmaktadır. Bu çalışmada yapay puzzolanlar arasında tarımsal ürün atığı olan pirinç kabuklarından elde edilen pirinç kabuğu külünün özellikleri ve harçlardaki durabiliteye etkisi araştırılmıştır. Pirinç kabukları 400^o ve 500^oC de sıcaklığı kontrol edilebilen, LPG ile çalışan fırında 1,5 saatte yakılmıştır. Elde edilen küllerin fiziksel, kimyasal özellikleri incelenmiş, puzzolanik karakteri de kimyasal, mekanik deneylerle saptanmıştır. Küllerin özellikleri, silis dumanı, uçucu kül, curuf ve tras gibi puzzolanlarla da karşılaştırılmıştır. Küller çimentoya %10, 20, 30 oranında ikame şeklinde katılarak küllü harçlar ve şahit, külsüz harç üretilmiştir. Harç karışımlarında bileşim ağırlıkça (çimento+puzzolan):(su+süperplastifiyan):kum=1:0,57:3 oranındadır. Üretilen harçlar üretimden 28 gün sonra saf su ve saf su ile hazırlanmış sodyum sülfat çözeltisine konmuştur. Harçlarda belirli kür süreleri sonunda eğilme ve basınç dayanımı ağırlık ve boy değişimi, kılcallık, su emme, birim ağırlık deneyleri yapılmıştır. Ayrıca X ışını difraktometresi ve elektron mikroskobu ile harçların mikroyapısı incelenmiştir.

Çalışmadan elde edilen belli başlı sonuçlar şöyledir: Su içinde bekletilen küllü harçlarda eğilme ve basınç dayanımı şahit harca ve zamana göre artmıştır. Sülfat çözeltisinde bekletilen küllü harçların eğilme ve basınç dayanımı 8'ci kür haftasından sonra azalmıştır. Küllü harçlarda ise dayanımlar zamanla, şahit harca göre daha fazla artmıştır. Sülfat çözeltisinde bekletilen küllü harçların eğilme dayanımı, su içinde bekletilen küllü harçların dayanımına göre daha yüksek; aynı harçların basınç dayanımı ise su içinde bekleyenlerinkine denktir. Su içinde bekletilen tüm harçların ağırlık ve boy değişimi de 28 günde artış şeklinde az miktarlardadır. 28 günden sonraki kür haftalarında ise şahit harcın ağırlık ve boy değişimi sülfat çözeltisinde sürekli ve büyük miktarlarda artmıştır. Küllü harçlarda ağırlık değişimi sülfat çözeltisinde ağırlık kaybı, su içinde çok az ağırlık artışı şeklindedir; kılcallık ve su emme, değerleri suda kür için kül miktarının artmasıyla artmış, birim ağırlık, kül miktarının artmasıyla azalmıştır.

XRD incelemelerine göre su ve sülfat çözeltisinde bekletilen harçlardan şahit ve %10 kül içerenlerde Ca(OH)₂ saptanmıştır. Sülfat çözeltisinde bekletilenlerde ise Ca(OH)₂'in yanında ettrenjit görülmüş, oysa %20 ve %30 küllü harçların yapısında bu bileşiklere rastlanmamıştır. Araştırma sonuçlarına göre %20 ve %30 oranında kül katılmasının sodyum sülfatlı ortamda harcın dayanım ve dayanıklılığını arttırdığı kanısına varılmıştır.

POZZALANIC PROPERTIES OF RICE HUSK ASH and ITS EFFECT on DURABILITY of CEMENT MORTAR

SUMMARY

In our day, types and varieties of concrete structures are increasing continuously, and depending on this situation types of cement and their production are also increasing. Pozzalanic cement additives are used to improve properties of cement and to decrease cost.

Pozzalanic cements are especially used in the production of chemical resistant concretes. Besides natural pozzalans such as trass, also industrial by-products such as silica fume, fly ash and rice husk ash are used. This usage of industrial by products in cement production also prevents environmental pollution.

Rice husk ash is an artificial pozzalan and is an agricultural waste. Rice husk ash is gaining more importance in rural areas of agricultural countries. In the present work the pozzalanic character of rice husk ash (RHA) and its effect on the sulfate durability of mortar is investigated.

The work consists of five chapters which are as follows:

The first chapter is introduction, the second chapter covers the experimental part of the study, the third chapter presents the experiment results, the fourth chapter is devoted to the evaluation of the experimental results, and the fifth chapter gives the conclusions derived from the study and the proposals for further investigations.

In the introduction there is given general knowledge, about pozzalans, the structure of silica in pozzalans, the pozzolanic activity, the rice husk and its burning, the rice husk ash, the durability of concrete against corrosion in detrimental environments, the effect of pozzalans on durability, previous studies on the subject, and finally the purpose and scope of the present study.

In the second chapter, the materials such as portland cement rice husk ash (at 400°C and 500°C), silica fume, fly ash, blast furnace slag, trass and superplasticizers which are used in the experimental part of the study are defined. Physical, chemical and pozzalanic activities of the pozzalans are determined. In pozzalanic activity tests mechanical and chemical methods are used. In addition heat of hydration of pozzalanic cements and portland cement were measured and as a result of these experiments the pozzalans are compared to each other.

The rice husk used in this work is burnt in a cylindrically shaped furnace covered by heat resistant brick internally, and with its interior temperature being measurable and controllable. In the furnace LPG is used to burn the husk. Two burning temperatures of 400° and 500°C were used for periods of 1,5 hours. The reason for the choice of those temperatures being to obtain an amorphous state of the silica in the ash. The ash obtained as a result of this burning process was cooled in air to room temperature (18-20°C) in a few minutes. Finally this ash is ground in a disc mill to a fineness of 0-200 μm .

Physical and chemical properties and pozzalanic activity of the ground ash were determined. The existence of amorphous silica in ash is proved by chemical analysis, X-Ray Diffraction (XRD) and by pozzalanic activity test. When the ash is compared with other pozzalans, it is observed that the rice husk ash gives better results in regard to pozzalanic activity, than the other ones.

RILEM mortar mixtures were prepared by the addition of rice husk ash in the percentages of %, 10, 20 and 30 as a replacement by weight of cement. Since the water requirement of the ash was increased, %2 superplastifying admixture by weight of cement plus ash (RHA) is added to the mixing water. The water+superplastifier/cement+rice husk ash ratio was kept 0,57 for all the mortars.

On the mortars produced in this study properties in the fresh and hardened state and durability were investigated. Sodium sulphate ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) solution was selected as corrosive environment for durability.

At the age of 28 days the mortar prisms (4x4x16 cm) were immersed in distilled water and in sodium sulphate solution of 0,35 M for the durability test. The sodium sulphate solution was prepared using distilled water. The pH of the sodium sulphate solution was constant at 6+2. To keep the pH value at 6 when it tended to increase, the solution was titrated with, H_2SO_4 solution through a dozimeter connected to the pH meter.

Following tests were performed comparatively on samples kept in distilled water and in sodium sulphate solution after predetermined durations of exposure;

Flexural and compressive strength tests were made at 0, 4, 8, and 12th exposure weeks. Weight and length measurements were made at 1, 3, 7, 14, 21 and 28th day and after the end of 28th day at 4, 6, 8 and 12th exposure weeks. Also weight and length measurement on samples kept in air at room temperature were made at 1, 3, 7, 14, 21 and 28 days, and 8, 10, 12, 16 weeks. Capillarity, water absorption, and unit weight determination were made after 4th and 12th exposure weeks.

The microstructures of the mortars kept in distilled water and in sodium sulphate solution were examined by X Ray Diffractometer (XRD). The samples kept in sodium sulphate solution were examined additionally by Scanning Electron Microscopy (SEM).

In the third chapter calculated experimental results were presented in tables.

In the fourth chapter the experimental results were evaluated and discussed. The evaluation of the results is divided in the following 3 titles:

- 1- Properties of the fresh mortar such as unit weight and flow.
- 2- Mechanical properties of the hardened mortar such as flexural and compressive strength after curing in distilled water.
- 3- Durability of mortar stored in Na_2SO_4 solution and comparison of durability with control samples cured in distilled water. Parameters compared were:
 - Volume stability (weight and length changes)
 - Porosity (Capillarity, water absorption, unit weight, microstructure)
 - Loss in strength (flexural and compressive strengths)

In the fifth chapter general results are summarized.

Important results obtained in this study can be summarized as follows:

- 1- Results related to properties of the fresh mortar:

In the fresh mortar unit weight and flow decrease in proportion to the increase in amount of rice husk ash.

- 2- Results related to properties of the hardened mortar:

. Flexural and compressive strengths of plane mortar samples kept in distilled water were less than those of samples with rice husk ash mortar. In other words rice husk ash increased the strengths of the mortar.

. Flexural strengths of the two series with 400°C and 500°C rice husk ash mortars, kept in distilled water were very close to each other. This situation was also true for compressive strengths.

3- Results related to the durability

a. Results related to volume stability

a.1. Result related to the change of weight

. Unit weight decrease as the amount of ash in mortar increases.

. The weight change of both the ash and the control mortars, kept in distilled water, were in the form of an increase in weight.

. The change in weight of specimens kept in sodium sulphate solution occurred in the form of an increase of weight for the control mortar, and in the form of a decrease of weight for the ash mortar. The decrease in the weight of the ash mortar kept in sodium sulphate solution became stronger as the burning temperature of husk, and the amount of ash increased.

. The change in the weight of control mortar kept in sodium sulphate solution was much more than the one kept in distilled water. The increase in the weight of control mortar kept in distilled water was %0 1,2 after 12 week, and the same value in the case of storage in sodium sulfate solution was %0 7,3. At the end of 12 weeks, change in weight for %30 ash mortar kept in distilled water were %0 +0,7 for 400°C ash, and %0+0,5 for 500°C ash. For storage in Na₂SO₄ solution the same values were %0-2,1 for 400°C ash and %0-4,4 for 500°C ash.

. In the mortars kept in air the weight losses increased with the increase in the amount of ash in mortar and was always greater than that of control mortars. Further more the weight loses of the 500°C ash mortar was greater than that of the 400°C ash mortar.

a.2. Results related to the change of length

. The increase in the length for all of mortars kept in distilled water was very small and comparable to each other.

. Increases in the length are observed in all of the mortars kept in sodium-sulphate solution. When a comparison for the lengths of mortars kept in distilled water and with those of mortars kept in sodium sulphate solution is to be made, it will be seen, that the length increases in sodium sulphate solution were greater than those in distilled water. Also the increase in the length of control mortar in Na₂SO₄ solution was continuous and greater than that of ash mortar. At the 12th week of cure, the increase in the length of control mortar kept in distilled water was $30 \times 10^{-3} \mu/\text{mm}$, and the observed value of the control mortar kept in sodium sulphate solution was around $1072 \times 10^{-3} \mu/\text{mm}$. The increase in the length of ash mortars in sulphate solution was much less than that of the control mortar in

sodium sulphate solution, and this increase became less as the amount of ash increased.

It was also observed that the increase in length of ash mortars having a rice husk burning temperature of 400°C was greater than the those of 500°C ash mortars.

At the end of 12 weeks, change in length for %30 ash mortar kept in distilled water were 30×10^{-3} μ /mm for 400°C ash, and 45×10^{-3} μ /mm for 500°C ash. For storage in Na_2SO_4 solution the same values were 45×10^{-3} μ /mm for 400°C ash and 114×10^{-3} μ /mm for 500°C ash.

Results of the weight and length measurements showed that the lengths and the weights of control mortars containing no ash and stored in Na_2SO_4 solution increased 30 times and 6 times respectively more than the weights and lengths of control mortars stored in distilled water.

But for the test mortars containing %30 ash and stored in Na_2SO_4 solution the increase in the length was only ~3-5 times of that of the increase in length of mortars stored in distilled water; and a decrease was observed in the weight which was equal to 1/8 of that stored in distilled water for 500°C ash

These results prove that the control mortar has suffered severely from the sulphate solution as a result of certain compounds causing volume increase. But the test mortars containing %30 ash suffered much less or even none for the length of a storage applied in this investigation.

. In the mortars kept in air, the drying shrinkage increased with the increase in the amount of ash and was always greater than that of control mortars. Further more the shrinkage of the 500°C ash mortar was greater than that of the 400°C mortar.

b- Results related to porosity and micro structure

b.1. Results related to capillarity, water absorption and unit weight.

. The value of capillarity coefficient of the ash mortar kept in distilled water increased in relation to the increase in the amount of ash.

. As a result of increase in the amount of ash the capillarity coefficient of ash mortar increased. Also the capillarity coefficient of ash mortars kept in Na_2SO_4 solution was greater in comparison with the ones kept in water. But at the end of the 12th week the capillarity coefficient of %30 ash mortar kept in Na_2SO_4 solution, decreased

with time whereas that of the control mortar increased.

. Water absorption of the ash mortar kept in water increased in relation with amount of ash.

. As a result of increase in the amount of ash, water absorption values of ash mortar kept in Na_2SO_4 solution increased for the first 4 weeks of storage but started to decrease after 12 weeks (at 400°C). No such change occurred for mortar cured in distilled water.

. Unit weight of mortars decreased as the amount of the ash in mortar increased. Unit weight did not vary appreciably for both mortars kept in distilled water and sodium sulphate solution.

b.2. Results related to X Ray Diffraction (XRD)

. While $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (=Portlandite) was observed in the diffractogram of the control mortar and the %10 husk ash mortars kept in water, it was impossible to make the same observation in the case of %30 ash mortar.

. $\text{Ca}(\text{OH})_2$ and ettringite were observed in the diffractogram of the control mortar and of the %10 ash mortar kept in Na_2SO_4 solution, but not in the %20 and %30 ash mortar.

XRD test result; showed that $\text{Ca}(\text{OH})_2$ is decreasing as a result of increase in the amount of ash in the ash mortar kept in distilled water, or in other words, amorphous silica in ash is holding $\text{Ca}(\text{OH})_2$ that is liberated as a result of hydration of cement. But $\text{Ca}(\text{OH})_2$ and ettringite were not seen in ash mortar kept in Na_2SO_4 solution. This proves that rice husk ash blocks the formation of ettringite and holds the $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

Among these results weight and, length increases in the control mortar and observation of ettringite in XRD were the signs of destruction in the structure of mortar containing no ash. In addition to these external appearance, control and %10 ash mortars showed signs of disruption, but no external changes were observed in the %20 and 30 ash mortars.

c- Results related to the strength changes

. Flexural and compressive strengths of ash mortars kept in Na_2SO_4 solution were higher than those of the control mortar.

. A decrease is observed in compressive strengths of mortars kept in Na_2SO_4 in comparison with those of in mortars kept in distilled water.

. Flexural strengths of control mortars kept in sodium sulphate solution decreased at the end of the 12th test week, whilst the values of flexural strength of control mortars and ash mortars kept in distilled water increased %10 and %20 respectively. The increase turned out to be %40 for ash mortar stored in Na_2SO_4 solution.

The values of compressive strengths of control mortars and ash mortars kept in distilled water increased %10 and %25 respectively. The same values for storage in Na_2SO_4 solution turned out to be a decrease of %2 for the control mortar and an increase of %20 for the ash mortar.

. The flexural strength of ash mortar kept in Na_2SO_4 solution was greater than that of the ash mortar kept in distilled water. However, the compressive strengths of ash mortars kept in Na_2SO_4 solution were very near to the ones kept in distilled water.

As a final result it is concluded that rice husk ash is a profitable pozzalanic cement additive material. It is specially effective in increasing the durability of mortars in corrosive environments like a sodium sulphate solution.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Günümüzde gelişen teknolojinin sonucu olarak kimya endüstrisinde kimyasal ortamla temas eden betonlar artmaktadır. Bu tip betonlarda durabilite problemleri görülmektedir. Kimyasal ortamda bulunan beton kısa ve uzun sürede korozyona uğrar. Betonun korozyonunu önlemek için çeşitli beton katkı maddeleri kullanılır veya bu tip betonlar için özel çimentolar üretilir. Betonun dayanıklı (=dürabl) olabilmesi için boşluksuz, geçirimsiz mukavemetli olması gerekir. Puzzolanlı çimentolar, betonla ilgili bu tip sorunlara belli oranda cevap vermektedir.

Bu araştırmada pirinç kabuğundan elde edilen küldeki amorf silisin puzzolanik özelliğinden yararlanılması düşünülmüştür.

Pirinç üretiminin atığı olan kabuklar, üretimin fazla olduğu bölgelerde çevrede büyük stok alanları kaplayarak çevrenin bozulmasına neden olmaktadır. Gelişmekte olan ülkelerde bu kabuklardan yararlanabilmek için çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Kabuklar içerdikleri silis ve karbondan dolayı Si ve C türevleri için hammadde kaynağı oluştururlar. Kabuklar aynı zamanda bir enerji kaynağı oldukları için yakıt olarak da yararlanılır. Örneğin, kabuklar yandığı zaman en iyi cins fuel-oil'in üçte biri kadar ısı vermektedirler (13×10^6 J/kg) [1,2,3]*.

Çeltik üretiminde fabrikada pirinç taneleri kabuk ve saptan ayrılır. Kabukların tanelerden ayrılması sırasında iki kabuk oluşur.

Birinci kabuk: Pirinç tanesinin etrafını sarar, ince zar gibidir, sarımsı renktedir, buna "kepek" denir. Besleyici yönden zengin olduğu için hayvan yemi olarak kullanılmaktadır. Bazen bu kepekli kısım, pirinç üstünde bırakılır ve pirinç bu şekil ile besleyici yönden

*Not: Köşeli parantez içindeki rakamlar ekli kaynak listesindeki referans numaralarını belirtmektedir.

daha yararlıdır.

İkinci kabuk: Pirinç tanesinin en dışındaki kabuktur. İçteki kabuğa göre serttir. Bu kabuğa "kavuz" veya "kapçık" da denir. Kavuz silis, karbon içerir. Organik madde yönünden de çeşitlilik gösterir. Yapısındaki silis, kabukların iskeletini meydana getirir ve amorf haldedir.

Çalışmada, kabuklar kontrollü şekilde yakılmış ve oda sıcaklığında ani bir şekilde soğutularak kül elde edilmiştir. Elde edilen kül, kabukların ağırlıkça yaklaşık %22'sini oluşturmuştur. Kabukları yakmak için LPG (=Likit Petrol Gazı) ile çalışan özel tip fırın yapılmıştır. Fırında yakılan kabuklar kül haline geldikten sonra değirmende öğütülmüş ve belli oranlarda çimento yerine katılarak (=ikame) kül katkılı harçlar üretilmiştir.

Betonla sürekli temas halinde olan, sülfat, klorür, nitrat şeklinde anorganik asitlerin tuzlarını içeren çözeltiler, asetik asit, laktik asit gibi organik asitli çözeltiler betonu değişik şekillerde etkiler. Bu çalışmada ise dayanıklılık (=dürabilite) için, korrozif ortamı temsilen, sodyum sülfat çözeltisi alınmıştır. Bu nedenle üretilen şahit ve kül katkılı harçlar Na_2SO_4 çözeltisi içinde belli sürelerde tutulmuştur. Daha sonra bu numuneler üzerinde değişik zaman aralıklarında fiziksel mekanik deneyler yapılarak küllü harçların dayanıklılığı şahit harca ve su içinde bekletilen harçlara göre karşılaştırılmıştır.

Bu araştırmada pirinç kabuğu yakma parametresi olarak da yakma sıcaklığının kabuğun puzzolanik özelliğine etkisi araştırılmıştır. Ayrıca pirinç kabuğu külünün puzzolanik aktivitesi, doğal puzzolan olan tras ve yapay puzzolan curuf, uçucu kül ve silis dumanı ile karşılaştırılmıştır.

Çalışmanın genel sonucu olarak pirinç kabuğu külünün aktif bir puzzolan olduğu; küllü harçların sodyum sülfatlı kimyasal ortamda şahit harca daha dayanıklı olduğu ve külün harcın servis ömrünü uzattığı ortaya çıkmıştır.

1.1. Genel Bilgiler

Bu bölümde puzzolanlar, puzzolanik aktivite, silis, pirinç kabuğu, pirinç kabuğu külü konularında mevcut yayınlardan derlenmiş bilgiler özetlenmiştir.

1.1.1. Puzzolanlar

Puzzolan, doğal veya yapay şekilde içinde aktif halde silis bulunduran malzeme olarak tanımlanır [4]. Puzzolanlar kendi başına bağlayıcı özellik göstermezler. Ancak normal koşullarda kireç veya çimento ile karıştırıldığında su ile yaptığı reaksiyon sonunda çözünmeyen, kararlı, bağlayıcı madde özelliği kazanırlar [5,6].

Puzzolan adı İtalya'daki bir kasabadan gelir. İtalya'da Puzzoli kasabası yakınında yukardaki tanıma uyan doğal volkanik taşlar vardır. Bunlar SiO_2 , Al_2O_3 'den oluşur, içinde az miktarda Fe_2O_3 , CaO , MgO 'de bulunur. Almanya'da bu özelliklere sahip taşlar ilk kez Ren nehri vadisinde bulunmuştur ve tras adı ile anılmıştır. Puzzolanik özelliği iyi bir başka önemli puzzolan ise Santorin toprağıdır. Bu puzzolanda Yunanistan'ın Santorin adasında bulunur. Ülkemizde de bu tip volkanik tüf karakterdeki puzzolanlara tras denir. İç Anadolu, İç Ege, Marmara, Karadeniz, Akdeniz Bölgelerinde puzzolanik reaktivitesi değişik traslar vardır.

Puzzolanlar oluşum şekline göre doğal ve yapay olmak üzere ikiye ayrılır [5,6,7,8,9].

1.1.1.1. Doğal Puzzolanlar

Doğal puzzolanlar, doğada eski volkanik kültelerin bulunduğu yerlerde görülür. Puzzolanın kimyasal yapısı, aktivitesi bulunduğu

bölgeye göre değişiktir, özgül ağırlıkları 2000 ile 2200 kg/m³ arasındadır. Doğal puzzolanlara örnek olarak volkanik tüfler, tras, diatome toprağı (kieselgur), bims (=ponza taşı=sünger taşı), sayılabilir.

Doğal puzzolanlar kalsinasyon işlemine tabi tutulabilir. Böylece kalsinasyon sonunda varsa yapıdaki karbonatlar bozunarak oksitli bileşenlere dönüşür. Doğal puzzolanlar üçe ayrılır [4]. Bunların özellikleri ve farklılıkları aşağıda özetlenmiştir [10].

1.1.1.1.1. Killer ve Tortul Şistler

Kalsinasyonla aktif puzzolan elde etmek mümkündür. Bu gruba giren killer Montmorillonit, Kaolinit, illit'dir.

Montmorillonit($Al_{1.67}Na_{0.33}Mg_{0.33}$): $Si_4O_{10}(OH)_2$ şeklindedir. Volkanik kültelerin ve tüflerin ayrışması ve bozuşması ile oluşan montmorillonitlerin oluşturduğu kaya tipine bentonit denir.

Kaolinit: $((OH)_4Al_2Si_2O_5)$ bileşimindedir. Feldspatlardaki $(KAlSi_3O_8 + H_2O)$ alüminosilikatların bozuşması veya düşük sıcaklıklardaki hidrotermal etmenlerle ayrışması ile oluşurlar.

Illit: $(Al_{4a+b}M_cFe_KSi_{8-y}Al_yO_{20}(OH)_4)$ bileşiminde, yapı bakımından montmorillonit'e benzer.

1.1.1.1.2. Opaller

Bu tip puzzolanlarda aktiflik kalsinasyonla sağlanabilir veya kalsinasyon gerekmebilir. Opaller, camsı silis içerir. Opalli şeyller, diatomeli topraklar, çörtlükler olarak üç gruba ayrılır.

Opalli şeyller: Kil ve siltler sıkışma ile taşlaşarak ince tabakalara ayrılır ve şeyller oluşur. Diatome ve silisli sünger gibi organik kalıntılar eriyip çökelirse opalli şeyller oluşur.

Diatomeler: Diatome denen silisli alglerin kalıntılarının birikmesiyle oluşur. Yoğunlukları çok düşüktür, boşlukludur, düzensiz parçacıklardan, hücrelerden oluşur. Bileşiminde % 65.2 SiO_2 vardır.

Çörtler: Organik ve kimyasal kökenli çok küçük kristalli silikatlardır. Organik tipleri silisli, kavrılı mikroorganizmaların birikimi ile, kimyasal çörtler ise göl ve denizlerdeki kolloidal silisin buharlaşma sonunda çökmesiyle oluşur.

1.1.1.1.3. Volkanik Tüfler ve Sünger Taşları

Bu tip puzzolanlarda kalsinasyona gerek yoktur. Bu gruba girenler Riyolitik, Andenzitik, Fonolitik, Bazaltik'tir.

Riyolitikler: Kuvars ve alkali feldispatlardan oluşan kayalardır. Kuvarslar iri tanelidir. %75-80 SiO_2 içerir.

Andenzitikler: İçinde kuvars bulunmayan feldispatlarla birlikte koyu minerallerden oluşan kayalardır. SiO_2 oranı %46-60 oranında değişir. Yarı camsı bir hamur içinde ince, uzun feldispat kristalleri gözlenir. Nadiren hamuru camsıdır.

Fonolitikler: İçinde %46-60 oranında SiO_2 bulunan volkanik kayadır.

Bazaltikler: Yeryüzünde en çok rastlanan volkanik kayadır. Bazik bileşimlidir. Bunlarda da SiO_2 %46-60 dır. Boşluklu bir yapıdadır. Bazan boşluklar kalsit, klorit, opal, kuvarsla dolu olarak bulunabilir.

1.1.1.2. Yapay Puzzolanlar

Yapay puzzolanlar, sınai üretim atığıdır. Yapısında, doğal puzzolanlardaki oksit bileşenler (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO) olduğundan

dolayı puzzolan ve üretimdeki reaksiyonlar sonunda oluştuğu için yapay sıfatı verilerek yapay puzzolan denmiştir. Atıktaki silis'in aktifliği, puzzolanın aktifliğini belirler.

Yapay puzzolanlar dört gruba ayrılır [8,9]:

1.1.1.2.1. Yüksek Fırın Cürufu (=Blast furnace Slag)

Yüksek fırında, demir filizi, ergitici (CaCO_3), kok ile yüksek sıcaklıkta bir dizi reaksiyon sonunda font üretilir. Demir-çelik Endüstrisi'nde font üretimi sırasında cüruf atık olarak ortaya çıkar. Fırının altından alınan cüruf ani olarak su ile soğutulur granüle halde elde edilir. Elde edilen cüruf çimento fabrikalarında değirmende klinker ve alçıtaşı ile birlikte öğütülerek cürufllu çimento halinde kullanılır. Cürufun puzzolanik özellikleri soğutma şekline, yani yavaş veya ani soğutmaya, ve filize göre değişir.

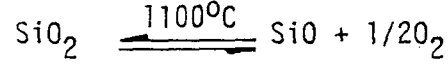
1.1.1.2.2. Uçucu Kül (=Fly ash)

Uçucu kül termik santral atığıdır. Termik santrallarda kömürün yanması sonucu oluşan kül; bacalardaki elektrofiltreler veya torbalı filtrelerde tutulur. Filtrelerde gazla katı maddeler birbirinden ayrılır. Tutulan katı malzemeye uçucu kül denir, çok incedir. Küldeki CaO miktarının düşük veya yüksek oluşuna göre puzzolanik özellik de değişir. Külün yapısı, kömür cinsine ve yakma koşullarına bağlıdır.

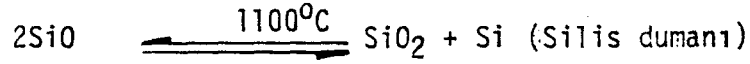
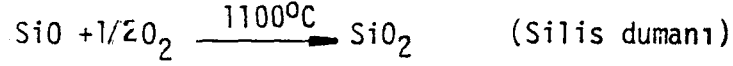
1.1.1.2.3. Silis Dumanı (=Silica Fume)

Silis dumanı, elektrik ark fırınlarında ferrosilikon ve metalik silisyum üretimi sırasında kömürle kuartzın indirgenmesi sonucu yan ürün olarak elde edilir [11].

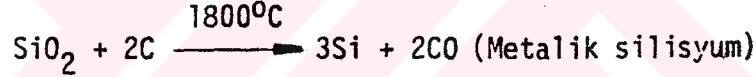
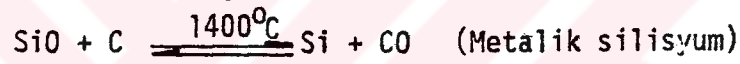
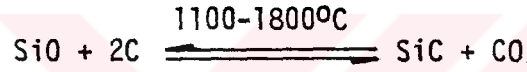
Ark fırınlarında yaklaşık 1100°C de kararsız bir ara ürün olan SiO (Silisyum mono oksit) oluşur.



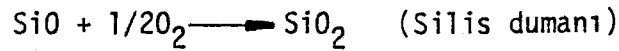
Fırında sırasıyla şu reaksiyonlar görülür.



Oluşan SiO, C ile SiC (Silisyum karbür) ve metalik Si meydana getirir. Bu arada CO açığa çıkar.



Diğer yandan oluşan SiO ani olarak soğuk bölgeye geldiğinde SiO₂'e dönüşür ve kondense silika fume denen silis dumanı meydana gelir [11].



Ark fırınından çıkışı sırasında gaz filtrelerinde toplanan ve yoğunlaşan silis dumanı, amorf ve çok küçük küresel parçacıklardır. Spesifik yüzeyi 20-23 m²/g olan silis dumanının puzzolanik aktivitesi çok yüksektir [8].

Silis dumanı, yüksek mukavemetli ve kimyasal ortama dayanıklı beton üretiminde geniş ölçüde kullanılmaktadır [11,12,13].

1.1.1.2.4. Pirinç Kabuğu Külü (=Rice husk ash)

Pirinç kabuğu, çeltik üretimi sonunda elde edilen zirai ürün atığıdır. Pirinç kabuğunun yapısındaki SiO_2 , kabuklar yandıktan sonra elde edilen kül hızlı bir şekilde soğursa amorf SiO_2 , yavaş soğursa kristal SiO_2 şeklinde oluşur. Amorf şekilde özgül yüzeyi $50-60 \text{ m}^2/\text{g}$ gibi büyük bir değerdedir. Bu nedenle puzzolanik aktivitesi yüksektir[8].

1.1.2. Puzzolanik Aktivite

Puzzolanik aktivite , puzzolanların kireç bağlama özelliğidir. Bir malzemenin puzzolanlığının kanıtlanması için puzzolanik aktivite deneyinde olumlu sonuç vermesi gerekir. Bu deneyler doğal ve yapay puzzolanlarda mekanik ve kimyasal deneyler şeklindedir. Mekanik deneyler, puzzolanlı çimento ile üretilen harçlar üzerinde yapılan eğilme ve basınç dayanımı deneyleridir. Kimyasal deneyler ise puzzolanlı çimentonun su ile yaptığı hidratasyon sonunda çözeltide oluşan Ca(OH)_2 'i saptamaya dayanır [14]. Ayrıca, puzzolanların reaktivitesi spektrofotometrik ve kolorimetrik yöntemlerle de saptanabilir [15, 16].

Puzzolana, puzzolanik özellik kazandıran silisin amorf yapısıdır. Amorf silis'e çözünen silis'de denir. Çözünen silis, doğrudan doğruya tayin edilebildiği gibi, çözünmeyen SiO_2 , toplam SiO_2 'den çıkartılarak da bulunabilir.

Amorf silis (=çözünen silis) kalitatif olarak X-Işını Difrakto-metresinde, kantitatif olarak da kimyasal gravimetrik yöntemlerle bulunur [17].

1.1.3. Silis (SiO_2) Doğada Bulunuşu, Allotropik Halleri

Silis veya silisyum dioksit doğada bol miktarda bulunur, florür asidi (HF) dışında su ve asitlerde çözünmez. Silis, doğada feldispat, talk, amyant, mika v.s. de silikatlar halinde görülür. Kuartzdaki SiO_2 ise serbest kristal yapıdadır. Sileks, cam, obsidyende ise amorf yani kristal olmayan SiO_2 şeklindedir [18,19].

Kuartz, Tridimit, Kristobalit, Silis'in üç kristal şeklidir ve belli sıcaklıklarda birbirine dönüşür [5,18,20,21].

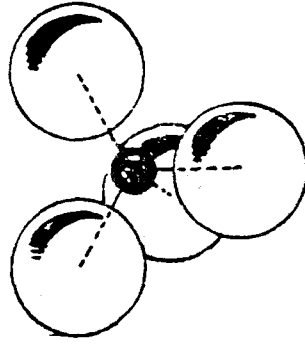


Bu kristaller α ve β şeklinde kendi aralarında değişime uğrar.

Her ne kadar silisyum periyodik cetvelde karbon'un bir altında bulunuyorsa da bu iki elementin oksijen ile yaptıkları bileşiklerden karbondioksit (CO_2), bir gaz olduğu halde kendisine çok yakın olan silis (SiO_2) 1400°C da eriyen katı bir maddedir. Bunun sebebi, CO_2 'in herbir molekülü, iki oksijen atomunun birer çifte bağ ile bir karbon atomuna bağlanan moleküllerden meydana gelişidir:



Burada, çift bağlardan dolayı meydana gelen moleküllerin aralarında birbirlerini çekme kuvveti çok az olduğundan bileşik gaz halindedir. Buna karşılık silisyum hiçbir zaman çifte bağ yapmaz. Örneğin, kuartz kristalinde, Şekil 1-1 de görüldüğü gibi silisyum atomuna dört ayrı oksijen atomu birer tek bağ ile bağlanmış olup, herbir oksijen atomu da iki ayrı silisyum atomuna bağlanmıştır [22].



Şekil 1-1 Kuartzın Kristal Yapısı

1.1.4. Pirinç Kabuğu

Pirinç, dünyada 1,6 milyar kişinin besin maddesinin yarısını oluşturur. Ekilebilen alanların %11'inde yani yaklaşık 145 Milyon Hektar'da pirinç ekimi yapılmaktadır. Bu, 1982 için 411 milyon ton çeltik üretimi demektir [23].

Çeltik bitkisi, yeryüzünde buğdaydan sonra en fazla üretilen tahıldır. Kavuzlu tane ürüne çeltik denir. Çeltik fabrikalarda işlenerek pirinç elde edilir. İşleme sırasında çeltiğin %9-10'u kepek, ~%20'si de kavuz olarak ayrılır [24].

Türkiye [25] ve diğer ülkelerin [26] 1981-85 yılları arasında çeltik üretimi Tablo 1-1 de verilmiştir. Tabloda da görüldüğü gibi Çin, Hindistan, Endonezya, Bangladeş, Tayland ilk sıralardadır. Türkiye ise tablodaki ülkeler içinde en düşük çeltik üretimine sahiptir.

1.1.4.1. Pirinç Kabuğunun Yapısı, Bileşimi

Pirinç kabuğu, çeltik ürününün %16.3-26.0'sını oluşturur [27]. Kabukların yapısı, mevsim, jeolojik yapı, su, özel kültür uygulamasına göre değişkenlik gösterir. Kabuk organik ve inorganik bileşiklerden oluşur. Kabuğun bileşiminde C, H, O, N, Si, Fe, Al, Ca, Mg, Na,

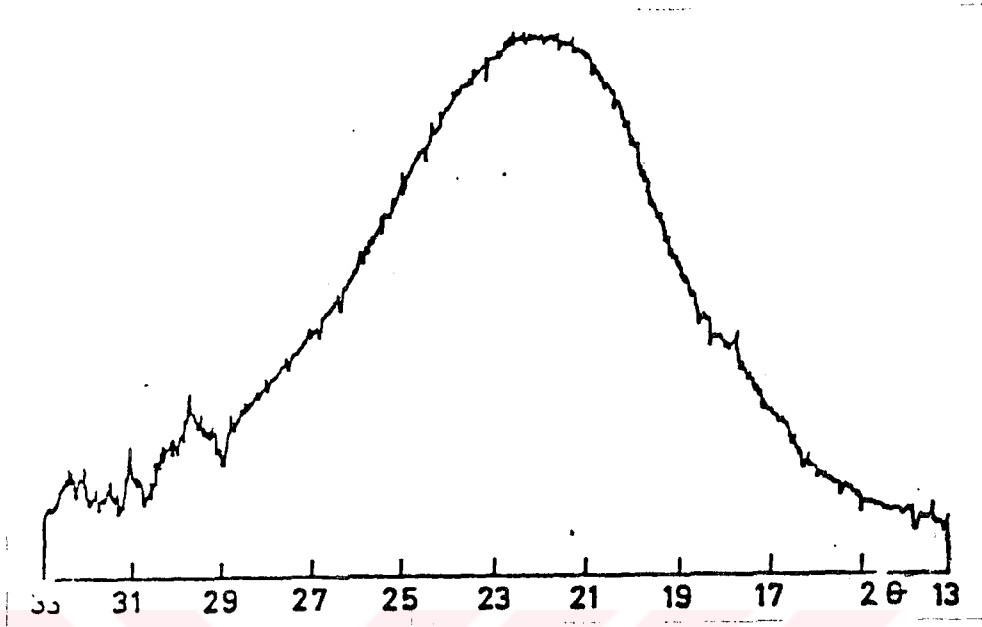
K, P, Cu, Mn, Zn elementleri bulunur [28].

Tablo 1-1 Türkiye [25] ve Diğer Ülkelerin [26] 1981-85 Yılları Arasındaki Çeltik Üretimi (. 1000 MT)

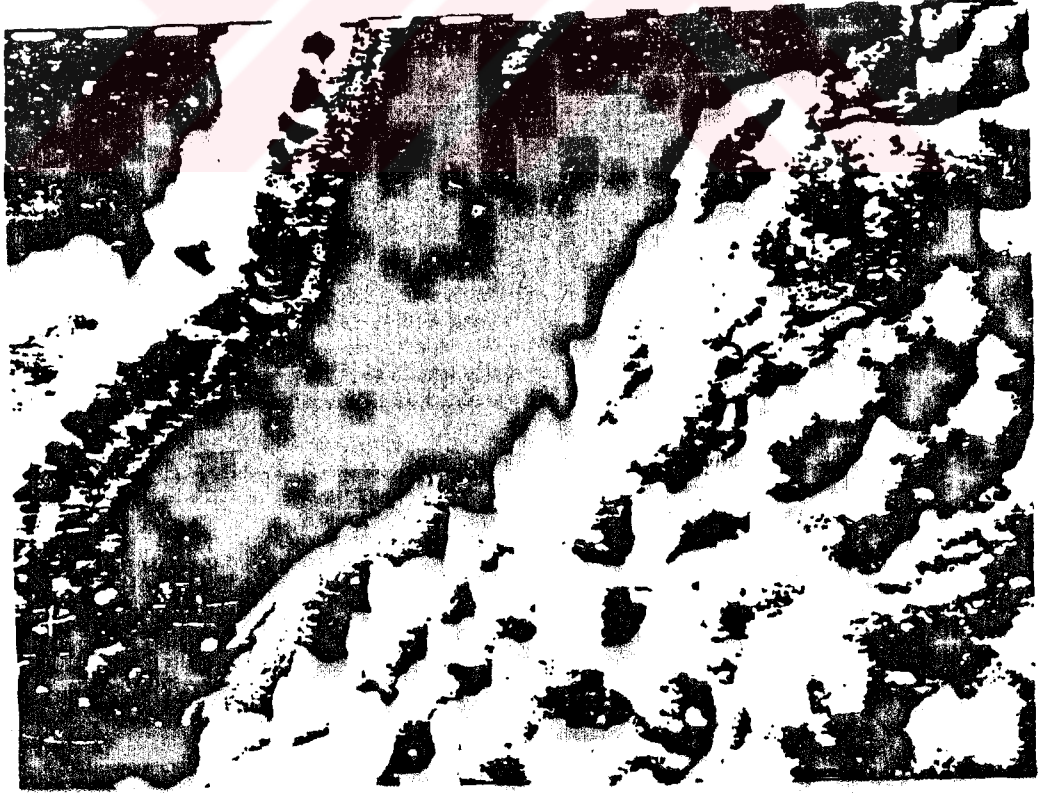
	1981.	1982.	1983.	1984.	1985.
Türkiye	198	210	189	168	162
Avustralya	728	854	548	635	650
Bengaldeş	20.444	21.322	21.751	21.500	21.600
Brezilya	8.228	9.735	7.741	9.023	9.500
Burma	14.147	14.373	14.392	14.500	14.600
Çin	147.042	168.848	172.184	181.028	190.000
Endonezya	32.774	33.584	35.237	37.500	39.000
Hindistan	79.883	70.772	89.579	90.000	91.000
Japonya	12.824	12.838	12.958	14.848	15.500
Nijerya	1.125	1.250	1.250	1.100	1.150
Pakistan	5.145	5.167	5.210	5.009	5.200
Filipinler	8.108	7.731	8.150	8.280	8.400
Kore Cumhuriyeti	7.149	7.308	7.608	7.170	8.200
Tayland	17.774	16.878	18.535	19.200	20.000
USA	8.289	6.969	4.523	6.216	6.400
USSR	2.400	2.500	2.600	2.500	2.500

Pirinc kabuğunun kimyasal bileşiminin ağırlık yüzdesi değişiktir. Kabuktaki su, protein, yağ, ekstraktif madde, lif, kül, pentozan, selüloz, lignin oranlarını birçok araştırmacı değişik oranlarda bulmuştur. Örneğin kabuktaki kül yüzdesi 15,27-29,04 arasında değişmektedir [19].

Kabuktaki silis, kabuğun iskeletini oluşturur ve amorf silis, $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ şeklinde ; monosilisli asit veya silikat olarak bulunur [19]. Kabuktaki silis'in opal camı şeklinde oluşu XRD ve mikroskop ile yapılan incelemelerle de kanıtlanmıştır [26,29]. Aşağıda Şekil 1-2 de kabuğun X-Isını Difraktogram, Şekil 1-3 de de SEM fotoğrafı görülmektedir. Difraktogramda belirgin bir kristal pike rastlanmamaktadır. Elektron mikroskopunda silisin iskelet yapısı görülmektedir.



Şekil 1-2 Pirinç Kabuklarının X-Işını Difraktogramı [26].



Şekil 1-3 Pirinç Kabuklarının Elektron Mikroskopundaki Görünüşü [26].

1.1.4.2. Pirinç Kabuğunun Özellikleri

Kabukların gevşek birim ağırlığı $96-160 \text{ kg/m}^3$ arasında değişir. Araştırmada kullanılan kabukların gevşek birim ağırlığı ise 100 kg/m^3 dür.

Kabuktaki opalin silis'in MOHS sertliği 5-6 dır [30]. Oysa kuartz'ın sertliği 7'dir [5]. Kabukların ısı değeri $13,8-15 \times 10^6 \text{ J/kg}$ dır [1,2,3,30] diğer katı yakıtlar ve fuel-oil'in ısı değerinden düşüktür. Odunun $18,8 \times 10^6 \text{ J/kg}$, kömürün $29,7 \times 10^6 \text{ J/kg}$. Fuel-oil'in $39,8 \times 10^6 \text{ J/kg}$ 'dir. Böylece 1 ton pirinç kabuğu 0,48 ton kömür, 0,36 ton fuel-oil'e denktir [30]. Bir başka deyişle 3 kg pirinç kabuğu, 1 kg fuel-oil'e veya 2 kg pirinç kabuğu 1 kg kömüre denktir.

Kabukların ısı izolasyon özelliği de iyidir. Isı iletkenlik katsayısı istiflemeye göre değişir. $0,036-0,086 \text{ W/m.k.}$ dir. Bu asbestte 0,041, cam yününde 0,030, granüle mantarda ise $0,028 \text{ W/m.k.}$ dir [30].

1.1.4.3. Pirinç Kabuğunun Kullanıldığı Yerler

Kabuğun kullanım alanları şöyle sıralanabilir [31].

1- Yakıt olarak kullanım: Kırsal bölgelerde kışın kabuklar ısı gereksinimini karşılamak üzere sobalarda yakılır. Böylece ısı enerjisinden yararlanılır. Endüstriyel bölgelerde ise buhar kazanlarında yakıt olarak kullanılır. Örneğin ABD'de P.K.Mehta, İtalya'da Gariboldi özel tip buhar kazanlarında kabuklardan yakıt olarak yararlanmışlardır.

2- Çelik endüstrisinde kullanım: Kabuk veya yarı yanmış kabuklar şeklinde kullanılır. Çelik üretimi sonunda kabuklar, çelik külçelerin üzerine serilir. Böylece çeliğin soğuması yavaşlatılır ve kristal

yapı oluşur, ayrıca kalıbın düzgün şekilde çıkması sağlanır. Kabuklardan bu şekilde yararlanma Kanada, ABD, SSCB, İngiltere, Romanya, İspanya, Hindistan, Japonya ve ülkemizde de görülür.

3- Refrakter malzeme olarak kullanım: Özellikle Mısır, Japonya ve bazı diğer ülkelerde refrakter malzeme üretiminde ve izolasyon malzemesinde pirinç kabuklarından yararlanılır.

4- Aktif karbon eldesinde kullanım: Pirinç kabukları havasız yerde yakılarak aktif karbon elde edilebilir.

Aktif karbon adsorbsiyon yeteneğinin yüksek oluşu nedeniyle sanayiide renk, koku giderici olarak kullanılır. Aktif karbon, amorf karbon içerir. Gözenekliliği ve özgül yüzeyi büyüktür. Özgül yüzey 0,08-0,1 m²/g arasında değişir [18].

5- Yapı malzemesi olarak kullanım: Çeltik kapçığı, hafif beton imalinde hafif agnega olarak kullanılır [32]. Ayrıca çimentoda da puzzolan olarak yararlanılır.

1.1.4.4. Pirinç Kabuğunu Yakma İşlemi

Pirinç kabuğu yakılarak kül elde edilir. Külün kullanım şekline göre kabuğun yakma şekli de değişiktir. Kabuk yakıt olarak kullanılıyorsa yakma koşullarını sabit tutmaya gerek yoktur. Ancak yapı malzemesi olarak bir puzzolan gibi kullanılmak istendiğinde kabukların yakılması ve külün soğutulması belli koşullarda gerçekleştirilmelidir [2,3,8,17,19,27,30,33,34,35].

Fırında, yakma ve soğutma koşulları sabit tutularak yani kontrol edilerek amorf durumda SiO₂ içeren puzzolanik özellikte kül elde etmek mümkündür [33]. Bu yapıdaki pirinç kabuğu külü, çimento veya kireç ile karıştırıldığında, çimentonun hidratasyonu sonucu oluşan Ca(OH)₂ ile veya çimentoda bulunan serbest kireç (CaO) ile birleşerek kalsiyum silikat hidratı(C-S-H) şeklinde harç ve betona mukavemet

kazandıran ve suda çözünmeyen bileşikler oluşturur.

Termal dekompozisyon (=Isıl bozunma)

Pirinç kabukları yandığında dışarı ısı çıkar. Bu reaksiyon sonunda ağırlıkta azalma olur ve kül elde edilir. Yakma işlemi ile kabukların yapısının bozunmasına Termal Dekompozisyon denir [30].

Termo Gravimetri (TG), Diferansiyel Termo Gravimetri (DTG), Diferansiyel Termal Analiz (DTA) gibi termik analiz yöntemleri ile pirinç kabuğunun ve külün yapısı aydınlatılabilir.

Yakma işlemi sırasında pirinç kabuklarındaki sellüloz ve lignin bozunur. Termal analizler sonunda bu bozunma sıcaklıkları sellülozda 327-377°C, ligninde ise 227-500°C dir [23].

Termo gravimetrik analizde ilk ağırlık kaybı 80-100°C de %6 dır, bu rutubet veya bağlı su kaybını gösterir. Bunu takiben 260°C de ağırlık kaybı %45-65'e ulaşır. Bu aşamada sellüloz ve diğer organik bileşikler bozunmaya başlamıştır. Bozunma sonunda organik bileşikler parçalanarak CO₂ ve H₂O verir. DTG'de oluşan pikler termal bozunmanın (=dekompozisyonun) 327-462°C de olduğunu gösterir ki bu da sellüloz ve ligninin bozunma sıcaklıklarıdır. Yanma sonucu geri kalan külde silis amorf, hidrate yapıdadır. Bu amorf yapı külün hızlı bir şekilde soğumasına bağlıdır [20].

Kabukların yanması sırasında 600°C de silis'in kuartz şekli kısmen oluşmaya başlar [36]. Yanma sıcaklığı arttırıldığında kuartz, kristobalit dönüşümü 800°C-900°C ve ilerki sıcaklıklarda tamamlanır. DTA, TG eğrilerinde de amorf silis faz dönüşümlerinin 750°C de başlayıp 860°C de tamamlandığı görülür [37].

Dass [34], pirinç kabuklarını 500°C-1000°C arasında 7 değişik sıcaklıkta 1, 2, 3, 5 saat yakarak elde ettiği küllerin fiziksel ve kimyasal özelliklerini incelemiştir. Dass, 500°C de 1 saat de elde ettiği küllerin kireç reaktivitesinin (=puzzolanik aktivite) diğer küllere göre en yüksek olduğunu, hatta 700°C ye kadar bile amorf yapıda olduğunu göstermiştir. James ve Rao [38] da buna benzer bir

çalışmada en aktif pirinç kabuğu külünü 500°C'de elde ederek Dass'ın [34] çalışmasını desteklemiştir. Cook, Pama, Damer [39] de puzzolanik karaktere sahip külleri 350⁰-500⁰C de elde etmişlerdir.

Mehta [40] ve arkadaşları ise Amerika'da kabukları 500⁰C de bir dakikada tutarak amorf silis içeren kül elde etmiştir ve kabuk yakma sıcaklığı 680⁰C ye yükseldiğinde bile amorf yapının korunduğunu görmüştür.

Bıdın [17] ve arkadaşları 340⁰C den 1000⁰C ye kadar değişik sıcaklıklarda pirinç kabuklarını 5, 30, 60 dakikada yakmışlardır. Yakma sıcaklıkları içinde 500⁰ ve 600⁰C de en aktif silisi elde etmişlerdir. Tüm yakma sıcaklıklarında 5 dakikada amorf silis elde ederken, yakma sıcaklığı 400⁰, 500⁰, 600⁰C iken, süre bir saate çıkarıldığında aktif silis'in arttığını görmüşlerdir.

1.1.5. Pirinç Kabuğu Külü

Pirinç kabuğu yandığı zaman ~%20 kül verir. Külün puzzolanik karakteri, yakma ve öğütme koşullarına göre değişir [28].

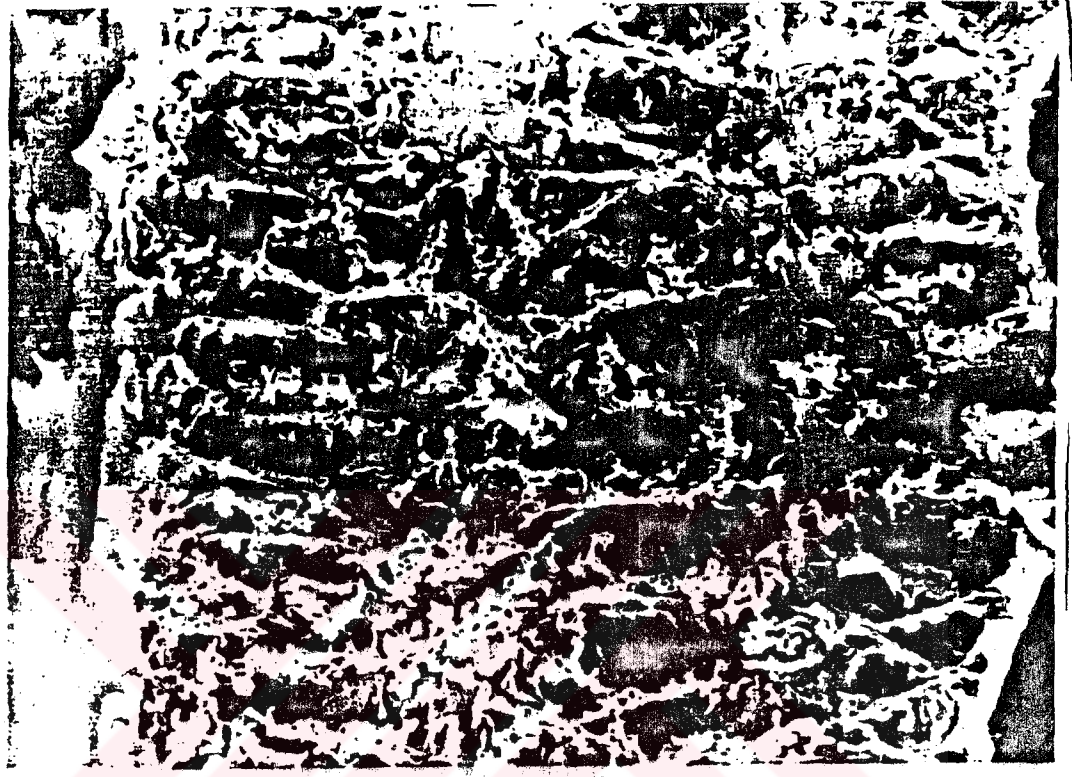
1.1.5.1. Pirinç Kabuğu Külünün Yapısı, Bileşimi

Pirinç kabuğu külünün yapısı, pirinç kabuğunun yapısı ile ilgilidir. Yakma sonucu oluşan külden organik bileşiklerden gelen az miktarda karbon (C) bulunur. Kabuktaki karbon miktarına göre kül iki şekilde tanımlanır [31]. Karbon miktarı %1.5'dan az ise kül (=ash), %1.5 dan büyükse odun kömürü (=char) denir.

Kabukların yakma sıcaklığına ve süresine göre külün rengi siyah, koyu gri, gri, beyaz, pembemsi leylak rengine göre değişir.

Yakma işlemi sırasında karbon'un büyük bir kısmı CO₂ şeklinde uzaklaşır, kabuktaki silis ise yapının iskeletini oluşturur. Kabuklar

yandıktan sonra elde edilen kül, elektron mikroskobunda incelenmiştir. Külün gözenekli silis iskelet yapısı Şekil 1-4 de görülmektedir [30].



Şekil 1-4 Pirinç Kabuğu Külünün Elektron Mikroskobundaki Görünüşü [30].

Pirinç Kabuğu Külünün Bileşimi

Pirinç kabuğu külünün bileşimi, kabuğun yapısına ve yakma koşullarına göre değişir. Genelde SiO_2 %80-90 arasında, diğer bileşiklerde buna bağlı olarak değişmektedir. Külün kimyasal bileşimi Tablo 1-2 de dir [28].

Tablo 1-2 Pirinç Kabuğu Külünün Kimyasal Bileşiminin (%) Değişim Aralığı [28].

SiO ₂	:	86,00-97,30
CaO	:	0,20- 1,50
MgO	:	0,12- 1,96
Fe ₂ O ₃	:	eser- 0,54
Na ₂ O	:	eser- 1,75
K ₂ O	:	0,58- 2,50
SO ₃	:	0,10- 1,13
P ₂ O ₅	:	0,20- 2,85
Cl	:	eser- 0,42

1.1.5.2. Pirinç Kabuğu Külünün Özellikleri

Pirinç kabuğu külünde silis %80-90 oranında bulunur. Bu araştırma açısından da külün en önemli özelliği amorf silis'den ileri gelen puzzolanikliğidir.

Pirinç kabuğu külünün gözenekliliği, özgül yüzeyinin büyüklüğü, amorf silise sahip olması külün puzzolanikliğini kanıtlamaktadır.

Gözeneklilik: Kabuklar yandığı zaman organik yapı bozularak gözenekli boşluklu kül oluşur. Ankra [19] külün gözenekliliği ile spesifik yüzeyi arasında lineer bağlantı olduğunu belirtmiştir.

Özgül yüzey: Külün gözenekliliğinin yanısıra spesifik yüzey de önemlidir. Külün spesifik yüzeyi BET adsorpsiyon yöntemi ile saptanır. Spesifik yüzey, kabuk yakma sıcaklığı, süresi, öğütme şekli ve süresi ile değişir. Puzzolanik özellik de spesifik yüzey ile değişir [35].

Alkhalaf [35] 500°C de 2 saat yakarak elde ettiği külleri 12 saat öğütmüştür ve spesifik yüzeyini 2,1 m²/g bulmuştur. Mehta [8] ise çalışmasında 50 m²/g, Cook [1] da 150 m²/g olarak saptamıştır. Cook ve Suwanvitaya [41] kabukları 2 m. uzunluğunda elektrikli fırında 35 dak. yakarak daha sonra öğütmüşler ve bu külün spesifik

yüzeyini de 152 m²/g olarak bulmuşlardır.

1.1.5.3. Pirinç Kabuğu Külünün Kullanıldığı Yerler

Pirinç kabuğu külünün kullanıldığı yerler literatürde geniş ölçüde belirtilmiştir [2,28,31].

Pirinç kabuğu külü aktif karbon eldesinde, su saflaştırma işleminde, ince malzemelerin filtrasyonunda, adsorpsiyon aracı ve koagülatör olarak kullanılır. Ortamda istenmeyen katı, sıvı veya gazların uzaklaştırılmasında, örneğin deniz ve göller üzerindeki kirler, döküntülerin yok edilmesinde yararlanır.

Silisyum tetraklorür (SiCl₄) gibi Si ve türevlerinin eldesinde kullanılır. Cam ve seramik endüstrisinde Si gereksinimini karşılar. Si ve C içermesi nedeniyle kauçuk üretiminde dolgu malzemesi olarak da yararlanır [42].

Yüksek ısı absorblama yeteneğinden dolayı refrakter malzeme de, ısı izolasyon tuğlaları ve özel seramiklerin üretiminde de kullanılır.

Temizlik malzemesi olarak yer döşemeleri ve metal malzeme üzerindeki kir ve pasın temizlenmesi, parlatılmasında külün abrassif özelliğinden yararlanır.

Dolgu malzemesi olarak, diş macunlarında, sabun endüstrisinde, boya, cila, vernik, mürekkep imalinde dolgu ve katkı şeklinde değişik yerlerde kullanılır.

Yapı malzemesi olarak çimento veya kirece katılarak harç üretmek mümkündür. Çimentoya katarak puzzolan gibi kullanılır [26,43,44,45, 46,47]. Ancak pirinç kabuğu külü çimentoya katılırken uygun bir şekilde öğütülmelidir [48]. Kül çimentoya öğütülmüş şekilde katıldığı gibi klinker ve alçıtaşı ile birlikte de öğütülebilir. Bu şekilde çimentoyla birlikte öğütüldüğünde mekanik özellikler daha iyidir [43, 49].

Bazı ülkelerde kül, basit sıva ve harç işlerinde halen kullanılmaktadır [41,45,46,47]. Ancak külü gerek çimentoda gerekse harç işlerinde ekonomik olarak kullanabilmek için kabuk yakma fırını ve değirmen, çeltik fabrikalarının yakınında inşa edilmelidir [50,51]. Pirinç üretiminin fazla olduğu ülkelerde (Tayland, Pakistan, Malezya v.s) özellikle kırsal bölgelerde bölgesel konut yapımında, külden geniş ölçüde yararlanılır. Bu bölgelerde yapılan bu tür konutların maliyetinin daha ucuz olduğu görülmüştür [35,52,53,54,55].

Pirinç kabuğu külünden blok, tuğla, çini ve briket üretiminde yararlanmak amacıyla da çalışmalar yapılmıştır [52,56,57,58,59,60,61]. Ayrıca pirinç kabuğu külü bitümlü karışımlarda da filler şeklinde kullanılmıştır [62].

1.1.6. Dayanıklılık (=Dürabilite)

ASTM'e göre dürabilite; malzeme, yapı bileşeni veya yapı elemanının yapı sistemi içindeki servis yeteneğini belirli zaman boyunca sürdürebilme yeteneğidir [63].

Beton veya harç üzerinde dürabiliteyi belirlemek için eskitme süreçleri uygulanır. Yapılan bu deneylerden sonra beton veya harçta, hasar düzeyini, ürünlerini saptamak amacıyla hasar kontrol deneyleri (=hasar tespit deneyleri) yapılır.

Eskitme süreçleri: Betonun dürabiletesinde, betonun geçirimliliği; kimyasal etkilere karşı direnci, taze ve sertleşmiş betonda don etkisi, betonun termik, elektriksel özellikleri, bunların zaman içinde değişimi anlaşılır [4]. Betondaki eskitme süreçleri arasında, ıslatma-kurutma, donma-çözünme, çözeltielerde bekletme şeklinde deneyleri saymak mümkündür.

Hasar tespit deneyleri: Eskitme süreçleri sonunda hasarı belirlemek ve hasar tespiti için kontrol deneyleri yapılır. Bu deneyler fiziksel, kimyasal, mekanik olabilir.

Fiziksel deneyler arasında, ağırlık, boy değişimi, kılcallık, geçirimsizlik, porozite, özgül ağırlık, birim ağırlık deneyleri sayılabilir.

Kimyasal deneyler beton veya harcın bünyesindeki veya çözelti-lerdeki kimyasal değişimi, oluşan yeni ürünleri, kristal yapıyı inceleyen X-Ray Difraktometresi, S.E.M., T.E.M. ile yapılan deneyler ve kimyasal analizlerdir.

Mekanik deneyler ise eğilme, basınç dayanımı, elastiklik modülü tayini v.s. dir.

Betonun dayanıklılığı, iç ve dış etkilere belli süre içinde en az şekilde etkilenmesi olarak düşünülebilir. Betonun durabilite-sinde ana faktör, bağlayıcı madde çimentonun mukavemetidir. Çimento-nun mukavemetine dolayısıyla betona fiziksel, kimyasal, fizikokimya-sal etkenleri içeren dış ortam etki eder. Betonun dayanıklılığına etki eden iç ve dış etkenler birbirleri ile de ilgilidir.

İç etkiler:

Betonun içindeki agrega ve suyun; çimentonun hidratasyonu sıra-sında ve/veya sonunda oluşan ürünlerle yaptığı hasar iç etkilerle o-luşur. Bu tür hasar, çimento, agrega, su özelliklerine göre şiddetli veya zayıf olur.

Çimentonun hidratasyon ürünlerinin çözünürlüğü, çimentonun ya-pısı, bileşenleri, korrozyona neden olabilir [64]. Bu nedenle çimen-todaki bileşikler (C_3S , C_3A v.s), alkaliler, serbest CaO , MgO , SO_3 , kızdırma kaybı çimentonun cinsine göre standartlarda sınırlandırılmış-tır.

Betonda iç etkilerle oluşan alkali-agrega reaksiyonu, çimento-daki alkalilerle, agregadaki aktif silis'in reaksiyonu sonunda ortaya çıkar. Reaksiyon ürünü hacimca genişlemeye neden olur. Bu nedenle çimentoda bulunmasına izin verilen alkali değeri ve agregadaki silis sınırlandırılarak alkali-agrega reaksiyonu önlenir.

Dış etkiler:

Sertleşmiş beton, dış ortam nedeniyle fiziksel, kimyasal etkenlerle hasar görebilir [4].

Fiziksel etkenler; iklim nedeniyle donma-çözülme, ıslanma-kuruma, kum fırtınaları, trafik araçlarının yaptığı aşınmalar olabilir [64,65].

Kimyasal etkenler; korrozyona neden olan dış ortam olabilir. Bu, çeşitli kimyasal bileşiklerden oluştuğu için literatürde kimyasal ortam olarak da adlandırılır. Kimyasal bileşikler katı, sıvı, gaz şeklinde bulunabilir. Kimyasal etkenlerin en çok rastlanan şekli çözelti ortamında olur. Betondaki kimyasal korrozyonun şiddeti, çözeltinin sıcaklığına, çözeltideki tuz ve asitlerin cinsine, konsantrasyonuna bağlıdır [64]. Ayrıca korrozif sıvının hareketi, betonun kapileritesinin büyük oluşu da betonda hasar şiddetini arttırır [4, 65,66].

Betonda iç ve dış etkiler nedeniyle çeşitli şekil ve büyüklüklerde boşluklar oluşur. Betonun dayanıklılığında en önemli nokta, bu boşluklar nedeniyle oluşan geçirimsiliktir. Dayanıklılığın iyi olabilmesi için beton dış ortamdaki sıvılara ve buhar akımına karşı geçirimsiz olmalıdır. Boşluklu malzemelerde sıvı, doymuş akım (=basıncılı geçirimsilik), doymamış akım (=kılcallık), buhar akımı şeklinde hareket eder [66]. Betonda geçirimsilik ve kılcal su emme olayını önlemek mümkündür. Geçirimsizlik, büyük özgül alanı olan puzzolanları çimentoya katmakla, kılcal geçirimsizlik ise su itici katkılarla sağlanabilir [65,66].

1.1.7. Zararlı Ortamın Betona Etkisi

Beton için zararlı dış ortam genellikle kimyasal çevredir. Doğadaki sülfat, klorür, nitratlı sular korrozif kimyasal ortamı oluşturur. Doğada nehir, göl, ırmak, deniz sularının yanısıra kimya endüstrisinin neden olduğu kimyasal atık maddeler de aynı şekilde betonu

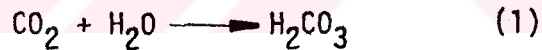
tahrip eder. Kimya endüstrisinde üretim sırasında ve/veya sonunda oluşan tuz ve asit çözeltileri aşınmaya neden olur.

Zararlı ortamın sınıflandırılması değişiktir. Bu sınıflandırma; kimyasal bileşiğin anorganik veya organik oluşuna, korrozif maddenin katı, sıvı, gaz şeklinde bulunmasına, çözeltideki anyon ve katyonlara göre yapılabilir. Genelde kimyasal dış ortam sülfat, klorür, nitrat v.s. şeklinde tuzların anyonuna göre yapılır. Beton etkileyen organik maddeler ise bitkisel, hayvansal, metalik yağlar, yosunlar, bakteriler gibi organizmalardır. Bunlara ilave olarak asetik asit, laktik asit gibi organik asitler de sayılabilir.

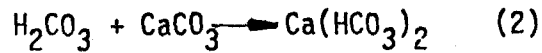
Kimyasal etkilerin neden olduğu çözeltiler beş grupta toplanır [64,67].

1- Saf sular: Çimentonun hidratasyonu sonucu oluşan Ca(OH)_2 'i çözerek boşluklu geçirimli beton oluşumunu kolaylaştırır.

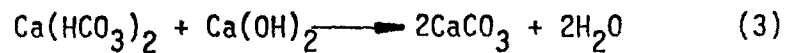
2- Karbonatlı çözeltiler: Havadaki CO_2 su içinde H_2CO_3 'e dönüşür. Oluşan H_2CO_3 betona korrozif şekilde etki eder.



Meydana gelen H_2CO_3 , CaCO_3 'a etki eder ve:



oluşan $\text{Ca(HCO}_3)_2$ ise ortamdaki Ca(OH)_2 ile tekrar karbonat oluşturur.



Eğer CO_2 az ise (3) ile reaksiyon biter ve CaCO_3 boşlukları doldurarak daha dayanıklı bir yapı meydana gelir. CO_2 miktarı fazla ise (2) reaksiyonu ile korrozyon devam eder.

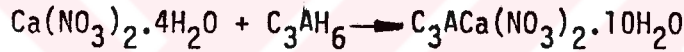
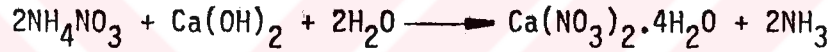
3- Klorürlü çözeltiler: Çözeltideki klorürler çimentodaki Ca(OH)_2 'in çözünmesini kolaylaştırır, betonarme yapıdaki donatının korrozyonuna neden olur. Bu olumsuz etkilerin yanı sıra, sülfat

iyonlarının C_3A 'daki etkisini yavaşlatması olumlu bir etkiye sahiptir.

Klorürler özellikle deniz suyunda $CaCl_2$, $MgCl_2$, $NaCl$, KCl şeklinde ve bunların birkaç tanesinin birarada karışımı halinde bulunabilir.

4- Nitratlı çözeltiler: Nitratlar, çimentonun hidratasyonu sonunda oluşan $Ca(OH)_2$ ile reaksiyona girer. Meydana gelen ürün, C_3A nın hidratasyon ürünü C_3AH_6 ile reaksiyona girerek hacimca genişlemeye neden olan tuzlar oluşturur [67,68].

Örneğin NH_4NO_3 'ün reaksiyonu şöyledir:

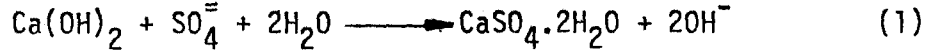


meydana gelen tuz hacimca genişlemeye neden olur.

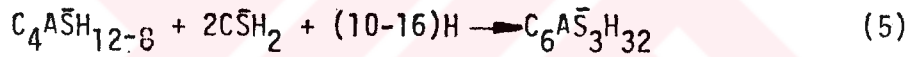
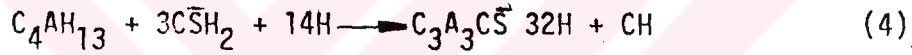
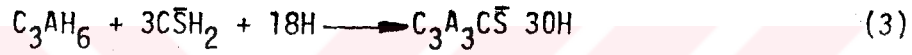
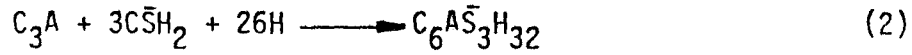
5- Sülfatlı çözeltiler: Sülfatlı bileşiklere doğada çok sık rastlanır. Toprakda %0,01-0,05 hatta %5 oranında bile bulunabilir. Sülfat, az veya çok tüm sularda, temel sularında, akarsular, deniz suyunda, veya kimya endüstrisinde ürün ve/veya atık şeklinde, Na^+ , K^+ , Ca^{++} , Mg^{++} gibi alkali ve toprak alkalilerin tuzları, NH_4^+ tuzu bileşimindedir. Ayrıca fabrika baca gazında oluşan SO_2 'nin atmosferdeki su ile yaptığı asit yağmuru da sülfat asidi şeklindedir.

Betonda sülfat etkileşimi, sülfatlara, çimento ve betonun yapısına, tuzların konsantrasyonuna, dış koşullara, zamana, çözeltinin yenilenmesine ve hareketine v.s. bağlıdır. Betonla sülfatlı çözeltiler arasında oluşan reaksiyon ürünleri, sülfata bağlı katyonlar, farklı sülfat karışımları, bunların birbirine bağlı oranları, çözeltideki klorür iyonları miktarı, çimentodaki C_3A miktarı, C_3A 'nın kristal şeklinin kübik, tetragonal, ortorombik olması, hidrate çimento hamurundaki $Ca(OH)_2$ 'e göre değişir ve sülfat etki mekanizması çok karmaşıktır.

Sülfatlı çözeltilerde ortamdaki sülfat iyonları çimentonun hidratasyon ürünü $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ile birleşerek $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ oluşturur.

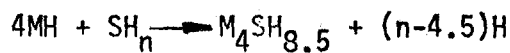
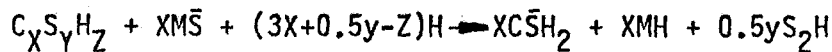


Bu reaksiyon Na_2SO_4 'lı ortamda ise NaOH , MgSO_4 'lı ortamda ise $\text{Mg}(\text{OH})_2$ meydana gelir. Reaksiyon sonunda oluşan $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, çimentodaki C_3A , hidratasyon ürünü C_3AH_6 , C_4AH_{13} , $\text{C}_4\text{ASH}_{12-18}$ ile Candlot tuzuna dönüşür. Candlot tuzu doğal mineral olan Ettringit'e çok benzer ~30 molekül H_2O bağlanması nedeniyle harç veya betonda hacim artışına neden olur [4,69].



Sülfatlı çözeltilerde sülfata bağlı katyonun rolü önemlidir. Na_2SO_4 ve MgSO_4 çözeltilerinin korrozif etkisi karşılaştırıldığında MgSO_4 çözeltisinin sülfat korrozyonunun daha etkili olduğu görülmüştür [4,64,69,70].

MS, çimentoda C_3S 'in hidratasyon ürünü CSH ile reaksiyona girerek MSH oluşturur. MS ise C_3A 'nın hidratasyon ürünleri ile reaksiyon yapmaktadır. Na_2SO_4 ile MgSO_4 'ın beton üzerindeki etkisi bu bakımdan farklıdır. Magnezyum sülfat'ın CSH ile reaksiyonu şöyledir [69].



Yukardaki reaksiyona göre MSH, CSH'daki C'nin M ile yer değiştirmesi sonucu oluşur. Halbuki bu reaksiyonu Na^+ iyonları gerçekleştirmez. Bunun nedeni; Ca^{++} ile Mg^{++} 'nın periyodik cetvelde aynı grupta yer alması ve Mg'un iyon çapının Ca'dan daha küçük olmasıdır. Mg ile Ca'nın yer değiştirmesi sonucu oluşan ürün MSH, CSH'a benzemez.

Çözünerek betonu veya harcı hasara uğratar.

1.1.8. Pozzolanların Betonun Dayanıklılığına Etkisi

Portland çimentosundaki C_3S , C_2S hidratasyon reaksiyonu sonunda genel bir ifade ile gösterilen CSH (kalsiyum silikat hidrat) ve CH oluşur. Çimentoya katılan pozzolanlardaki aktif silis ise bu CH ile birleşerek CSH'e dönüşür. Pozzolanın yaptığı bu reaksiyona pozzolanik reaksiyon denir. Reaksiyon, portland çimentosunda hızlı, pozzolanlı portland çimentosunda ise yavaş olur.

Portland çimentosunda: $C_3S + H \rightarrow CSH + CH$

Pozzolanlı portland çimentosunda: $S + CH + H \rightarrow CSH$

Yukarda her iki reaksiyonda da CSH oluşmaktadır. Ancak pozzolanik reaksiyon sonunda oluşan CSH, portland çimentosunun CSH'inden daha küçük özgül ağırlığa sahiptir [69,71].

Pozzolanın CSH'ı kimyasal ortamda mekanik ve kimyasal özellikler açısından diğerine göre daha dayanıklıdır. Ayrıca CSH'daki C/S oranı pozzolanik CSH'da 1.2, portland çimentosunda ise 1.7 dir [69].

Pozzolanlı çimentoların sülfatlı ortamda portland çimentosuna göre daha dayanıklı oluşunu Lafuma [72] şöyle açıklamaktadır.

Çimentoda C_3A 'nın hidratasyonu sonucu oluşan C_3AH_6 katı halde iken çözeltideki sülfatlı bileşik örneğin Na_2SO_4 ile birleşirse hacimca genleşmeye neden olan tuz oluşur ve harc veya beton korrozyona uğrar. Yani, harcın $SO_4^{=}$ 'dan etkilenmesi, C_3AH_6 'nın katı halde olmasına bağlıdır ve bu etkilenme sertleşmiş çimento hamurunda gerçekleşmektedir. C_3AH_6 bileşiği çözünerek çözeltide sülfatlı bileşikle reaksiyona girerse, yeni ürün hacimca genleşmeye neden olmaz. Yani C_3A 'nın sülfatlı ortamdaki hasarı C_3AH_6 hidratasyon ürününün çözünüp çözünmesine bağlıdır. Diğer yandan C_3AH_6 'nın doygun CH'de çözünürlüğü azdır. Pozzolanlı çimentonun hidratasyonu sonunda ise çözeltide CH

miktarı da azdır. Çünkü puzzolanlardaki aktif silis puzzolanik reaksiyona göre CH'i bağlamaktadır. CH'in az olduğu bu ortamda C_3AH_6 'nın çözünürlüğü artar ve C_3AH_6 , çözeltideki sülfat iyonları ile genleşmeyen tuz oluşturur.

Lafuma, puzzolanlı çimentonun sülfatlı ortamdaki dayanıklılığını böyle açıklarken; bazı araştırmacılar, puzzolanların sülfat etkisine dayanıklılığını, niçin dayanıklı olduğunu hala tartışmaktadır. Örneğin Calleja [73], sülfat iyonlarının hidrate çimentoda yayınabilirliğinin saf suda az, $Ca(OH)_2$ çözeltisinde ise çok daha büyük olduğunu belirtmektedir. Böylece $Ca(OH)_2$ 'in bulunmadığı ortamda yani puzzolanlı çimentolarda $SO_4^{=}$ iyonlarının beton veya harç içinde yayınması güçleşmektedir. Sonuç olarak sülfat etkisi puzzolanlı çimentolarda görülmemektedir veya puzzolanla önlenmiş olmaktadır.

Massazza [74] ise, puzzolanın sülfatlı ortamda daha dayanıklı oluşunu, $Ca(OH)_2$ 'in az oluşuna, düşük geçirgenliğe, çimento jelinin farklı kompozisyonuna, puzzolanlı çimentoda oluşan ettringit'in kararsızlığına bağlanmaktadır.

1.2. Konu ile ilgili Çalışmalar

Pirinç kabuğu ve pirinç kabuğu külü ile ilgili çalışmalar, Hindistan, Pakistan, Tayland, Malezya, Avustralya, Irak, Mısır, Arabistan, İtalya, İspanya, Amerika'da yapılmıştır. 1.1.4 ve 1.1.5 no'lu paragraflarda bu konuda yapılan genel çalışmalar, bu bölümde ise konu ile ilgili çalışmalar özetlenmiştir.

Pirinç kabuğu külünü puzzolan olarak kullanabilmek için özel olarak sıcaklık kontrollü kabuk yakma fırını dizayn etmek gerekmiştir. Çünkü, kabuklar, ancak fırında kontrollü bir şekilde yandığında puzzolanik karakter kazanmaktadır [1,2,3,24,33,34,35,75]. Yapılan çok sayıda araştırmaya göre en etkin kabuk yakma sıcaklığının 400° ile $600^{\circ}C$ arasında olduğu görülmüştür [17,33,34,35,38,39,40].

Pirinç kabuğu külünü, puzzolan olarak inceleyen, puzzolanik

özelliklerini araştıran çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmaların özeti aşağıdadır:

Mehta [43,76,77], pirinç kabuğu külünü puzzolan olarak harç ve betonda kullanmıştır. Mehta, ürettiği bu betonları çeşitli ortamlarda tutarak ağırlık kaybını saptamıştır. Bu çalışma sonunda küllü betonun asit çözeltisindeki ağırlık kaybının sahit betona göre daha az olduğuna işaret etmektedir.

Kamwanja ve Smith [78], tarafından yapılan çalışmada pirinç kabuğu külünden puzzolan olarak yararlanabilmek için kabukları üç değişik fırında kontrollü bir şekilde yakarak amorf silisli kül elde edilmiştir. Üretilen kül, çimentoya katılmış 7 ve 28 günlük harç basınç dayanımına göre aktif bir puzzolan olabileceği belirtilmiştir. Bu fırınlardan birinde kabuklar delikli tel kafes şeklindeki sepetçik içinde yakılmıştır. Diğer ikisin de ise yakma kısmı delikli tuğlalardan oluşmuştur. Bu tuğlalı fırınlardan birinin ortasında dikey açıklıktan, diğerinde de tuğlalar arasındaki deliklerden hava alması sağlanmıştır. Bu üç fırında da sıcaklık termokupllarla kontrol edilmiştir.

Puzzolanların önemli bir özelliği de alkali agreg a reaksiyonunu önlemesidir. Mehta ve Polivka [79] alkali-agrega reaktivitesi ile ilgili olarak yaptıkları çalışmada, aktif silisli agreg a ile üretilen pirinç kabuğu küllü betonların, doğal puzzolan ve aynı agreg a ile üretilen betonlardan alkali-agrega reaktivitesi yönünden daha etkili olduğunu göstermişlerdir.

Bir başka çalışmada Mehta ve Pirtz [80] pirinç kabuğu küllü harçlarda ve sahit (kontrol) harçta hidratasyon ısısını ölçmüştür. Pirinç kabuğu küllü betonların 7'ci günde hidratasyon ısısından dolayı sıcaklık artışının, kontrol betonuna göre 11^o-14^oC daha düşük olduğu görülmüştür. Aynı sonuç, 28 günlük betonlarda da gözlenmiştir. Böylelikle Mehta ve arkadaşı pirinç kabuğu külünün hidratasyon ısısını düşürdüğünü göstermişlerdir.

Cook, Pama, Damer [39] ise pirinç kabuğu külü ile çimento hamuru ve beton üretmişlerdir. Bu çalışmada çimento hamurunda terleme deneyi

yapılmıştır. Araştırma sonunda çimento hamurunun su tutma kabiliyetinin kül miktarının artmasıyla arttığı görülmüştür.

Khan, Mohan, Taylor [81] pirinç kabuğu külündeki silisin C_3S ile reaksiyonlarını, J.James ve M.Subba Rao [82] küldeki silisin kireç ile yaptığı bileşiklerin kimyasını, X-Ray Difraktometresi, Analitik Elektron Mikroskobu, Termogravimetrik analiz yöntemleri v.s. ile inceleyerek reaktivitesi yüksek silis'in varlığını kimyasal deneylerle kanıtlamışlardır.

Yukarda konu ile ilgili çalışmalarda da görüldüğü gibi külün puzzolanik özellikleri ile ilgili çalışmalar vardır. Yapılan çalışmalarda öncelikle uygun yakma koşulları saptanmıştır. Külün fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenmiştir. Kül, puzzolan olarak çimento ve/veya kirece katılmış puzzolanik karakteri az sayıda da olsa incelenmiştir. Ancak bu deneylerin hepsini birden içeren ve buna ilave olarak dürabilitesi ile ilgili çalışmalar yeterli düzeyde değildir.

Bu araştırmada ise, öncelikle külün fiziksel, kimyasal özellikleri incelenmiş ve diğer puzzolanlarla (silis dumanı, uçucu kül, cüruf, tras) karşılaştırılmıştır. Sonra puzzolanik aktiflik gösteren bu külle üretilen harclarda dürabilite denevleri yapılmıştır.

1.3. Araştırmanın Amacı ve Gerekçesi

Çeltik fabrikalarında pirinç üretimi sonunda pirinç kabukları atık olarak çok büyük bir alan kaplarlar. Bu nedenle, kabukların depolanması için büyük stok alanları gerekir. Pirinç üretiminin artışı ile birlikte açığa çıkan kabuklar da gittikçe artarak, çeltik fabrikaları ve çevre için büyük bir sorun oluşturmaktadır.

Araştırmanın gerekçesi, pirinç fabrikalarının atığı olan kavuzlardan yararlanmaktır. Bir diğer gerekçe ise, silis dumanı yerine geçebilecek olan pirinç kabuğu külünü kullanmaktır. Bu nedenle uygun yakma koşullarını saptayarak puzzolanik karakterde kül elde etmek

istenmiştir. Elde edilen küllerin puzzolan olarak harcın özelliklerine etkisini dayanıklılık yönünden araştırmak amaçlanmıştır.

Bu araştırmada kullanılan pirinç kabuğu külü, suni puzzolanlardan silis dumanı, uçucu kül, curuf, doğal puzzolanlardan tras ile karşılaştırılmıştır.

Özetle, pirinç kabuğunu değerlendirmek ve yararlanmak, silis dumanına benzer puzzolan olarak kullanabilmek araştırmanın gerekçesini oluşturur. Bu amaçla gerçekleştirilen çalışmada ülkemizden elde edilen pirinç kabuklarının külünün özel tip betonlarda kullanım olanaklarını belirlemek de çalışmanın amacını oluşturmaktadır.

1.4. Araştırmanın Kapsamı

Araştırmada kullanılan pirinç kabukları iki değişik sıcaklıkta (400° ve 500°C de) sabit bir sürede (1.5 saat) yakılarak iki tip kül elde edilmiştir. Üretilen küllerde fiziksel, kimyasal deneyler, puzzolanik aktivite testleri yapılmıştır.

Kabuk yakma sıcaklığı 400° ve 500°C olan küllerden kül katkılı harçlar ve ayrıca katkısız (şahit) harç üretilmiştir. Kül, çimentoya %10, 20, 30 oranında ikame edilerek katılmıştır. Küller su gereksinimini arttırdığı için suyu azaltmak amacıyla süperplastifiyan katkı kullanılmıştır. Katkı, harç suyuna çimento ve kül ağırlığının toplamının %2'si oranında katılmıştır.

Üretilen harçlar korrozif olarak belirlenen sodyum sülfat çözeltisinde tutulmuştur. Araştırmada kullanılan sodyum sülfat, $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ şeklinde ve tekniktir.

Harçların yarısı saf suda diğer yarısı da sodyum sülfat çözeltisinde tutulmuştur. Numuneler üretimden sonraki 28'ci günde su ve sülfat çözeltisine konmuştur.

Öretilen harçlarda taze halde, birim ağırlık, yayılma ölçülmüştür. Sertleşmiş harçlar üzerinde ise üretimden sonra 4. 8. 12. 16'cı haftalarda eğilme ve basınç dayanımı deneyi yapılmıştır. Ancak 28 günlük numuneler, 28'ci günde saf su ve sülfat çözeltisine konduğu için, bu numuneler başlangıç (0) olarak kabul edilmiştir ve araştırmada eğilme ve basınç dayanımı yaşı, 0, 4, 8, 12 kür yaşı şeklinde kodlanmıştır.

Su içinde, sülfat çözeltisinde ve havada bekleyen numunelerde 1. 3. 7. 14. 21. 28'ci gün, 8. 10. 12. 16'cı haftalarda ağırlık ve boy değişimi ölçülmüştür. Sülfat çözeltisine konduktan 4 ve 12 hafta sonra kılcallık, su emme ve birim ağırlık deneyleri yapılmıştır. Saf su içinde bekletilen numunelerde de aynı sürelerde aynı deney yapılmıştır.

Harçların iç yapısı da X ışını difraktometresi (XRD) ve taramalı elektron mikroskopu (SEM) ile incelenmiştir.

BÖLÜM 2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu bölümde, bu çalışmada kullanılan malzemeler, bu malzemelerle üretilen harç karışımları, deneyler, deneylerde kullanılan aletler açıklanacaktır.

2.1. Kullanılan Malzemeler

Bu araştırmada, çimento harçları TS 24'e [83] göre üretilmiştir. Harç üretiminde kum, çimento, puzzolan, süperplastifiyan katkı kullanılmıştır. Puzzolan olarak, pirinç kabuğu külü, silis dumanı, uçucu kül, yüksek fırın curufu, doğal tras seçilmiştir. Süperplastifiyan katkı, pirinç kabuğu külü, silis dumanı ile üretilen harçlarda su miktarını azaltmak amacıyla harç suyuna katılmıştır. Kullanılan malzemeler ve özellikleri aşağıda verilmiştir.

2.1.1. Kum (Standard Kum)

Harç üretiminde kullanılan standard kum şahit ve puzzolanlı harç üretiminde kullanılmıştır. TS 24'e [83] göre çimento harcı üretiminde özellikleri TS 819 [84] 'da belirtilen standard kum kullanılmaktadır. Araştırmadaki harç üretimi TS 24 esas alınarak gerçekleştirildiği için bu standard kum kullanılmıştır. Standard kum Pınarhisar Çimento Fab.'dan temin edilmiştir. Kumun granülometrisi aşağıdaki değerler arasındadır.

Tablo 2-1. Standard Kumun Granülometrisi.

Elek boyutu (mm)	2	1,6	1,0	0,5	0,16	0,08
Elekten geçen (%)	100	95+5	67+5	33+5	12+5	2+2

2.1.2. Çimento

Araştırmada Nuh Çimento San. A.Ş.'nin üretimi olan PÇ 325 (Normal Portland Çimentosu) kullanılmıştır. Çalışmada özellikle katkısız P Ç 325 kullanarak, pirinç kabuğu külü ve diğer puzzolanların harç üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Çimentoda TS 24'e göre fiziksel ve mekanik deneyler, TS 687 [85]'ye göre de kimyasal deneyler yapılmıştır. Çimento ve puzzolanlarda CaO, MgO miktarları kompleksometrik yöntemle saptanmıştır [86]. Çimentonun fiziksel ve mekanik özellikleri Tablo 2-2 de verilmiştir. Deney sonuçlarından da anlaşıldığı gibi çimento TS 19 [87] PÇ 400 özelliklerine daha uygundur.

Tablo 2-2 Çimentonun Fiziksel ve Mekanik Özellikleri

Fiziksel Özellikleri:

Özgül ağırlık (g/cm ³)	3.12
Priz başlangıcı (saat)	2 saat, 20 dak.
Priz sonu (saat)	3 saat, 20 dak.
Hacim sabitliği (mm)	3.0
Özgül alan (Blaine) (cm ² /g)	3020
200 µ. elek kalıntısı (%)	0.6
90 µ. elek kalıntısı (%)	8.0

Mekanik Özellikleri

Gün	Eğilme dayanımı (N/mm ²)	Basınç Dayanımı (N/mm ²)
7	5.5	32.0
28	7.3	44.6

Çimentonun kimyasal analizi Nuh Çimento San. A.Ş. de yapılmıştır. Sonuçlar Tablo 2-3 dedir. Analiz sonuçlarına göre çimentonun kireç standardı, hidrolik modülü, silis modülü, alumin modülü ve Bogue formülleri yardımıyla C₃S, C₂S, C₃A, C₄AF mineralojik bileşenleri hesaplanarak aynı tabloda verilmiştir.

Tablo 2-3 Çimentonun Kimyasal Analizi, Modüller ve Mineralojik Bileşenler

Kimyasal Analiz:

	%
SiO ₂ (çözünen)	20.16
Çözünmeyen kalıntı	0.40
Al ₂ O ₃	7.00
Fe ₂ O ₃	3.20
CaO	62.96
MgO	1.41
SO ₃	2.94
Kızdırma kaybı	1.85
Tayin edilemeyen	0.08
Toplam	100.00

Modüller

Mineralojik Bileşenler

Hidrolik modül	2.07	C ₃ S *	40.88
Silikat modülü	1.97	C ₂ S	27.04
Alüminyum modülü	2.19	C ₃ A	13.11
Kireç standardı	90.39	C ₄ AF	9.73

S:SiO₂, C:CaO, A:Al₂O₃, F:Fe₂O₃, M:MgO, S:SO₄, H:H₂O

2.1.3. Puzzolanlar

Araştırmada puzzolan olarak pirinç kabuğu külü incelenmiştir. Bunun yanısıra silis dumanı, uçucu kül, cüruf, tras gibi puzzolanlar pirinç kabuğu külü ile karşılaştırılmıştır.

Puzzolanların özelliklerini belirlemek için fiziksel, kimyasal, puzzolanik aktivite, hidratasyon ısısı deneyleri yapılmıştır. Araştırmada kullanılan puzzolanlarda yapılan deneyler ve genel değerlendirilmesi aşağıdadır:

1- Fiziksel deneyler: Puzzolanlarda, granülometri, özgül ağırlık, birim ağırlık, incelik (90 μ ve 200 μ da kalıntı, Blaine) deneyleri yapılmıştır. Granülometri deneyleri CILAS Marka partikül tayin cihazı ile SA Ak Çimento San. A.Ş. de yapılmıştır ve Tablo 2-4 dedir, diğer fiziksel özellikler ise Tablo 2-5 de verilmiştir.

Tablo 2-4 Puzzolanların ve Çimentonun Granülometrisi

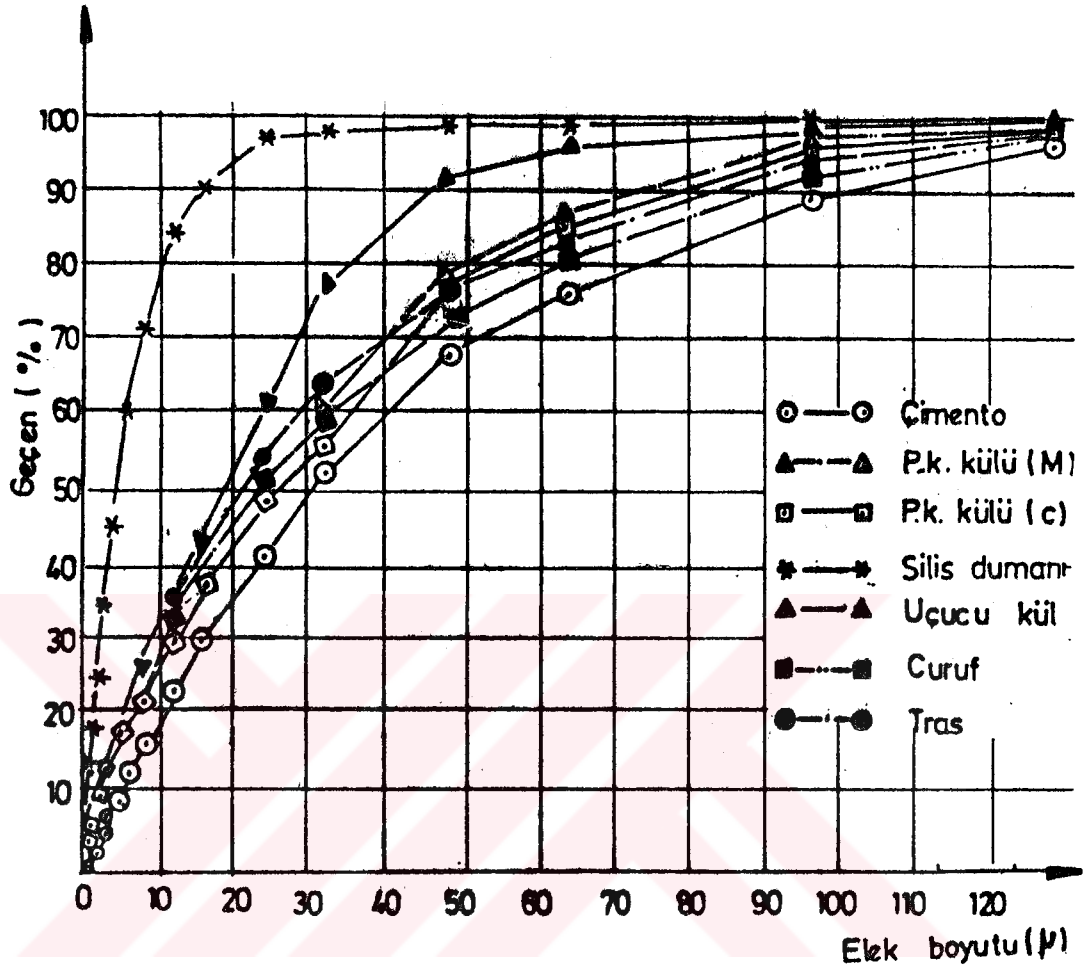
Elek boyutu (μ)	Elekten geçen %						Çimento
	Pirinç k.külü (M) (400°C)	Pirinç k.külü (C) (500°C)	Silis dumanı	Uçucu kül	Curuf	Tras	
192	100	100	100	100	100	100	100
128	100	100	100	100	98.2	99.8	97.4
96	97.9	97.3	100	100	93.1	95.7	89.8
64	87.1	85.8	100	97.0	81.7	86.1	76.6
48	79.6	76.8	100	92.8	75.2	79.1	69.0
32	60.0	57.4	98.8	77.5	61.9	65.0	52.9
24	51.2	49.9	98.3	62.4	52.4	54.8	42.0
16	41.3	38.3	90.9	43.9	49.9	43.3	30.6
12	33.7	30.6	85.4	32.7	32.0	35.2	23.6
8	24.2	22.1	71.9	23.2	24.2	28.3	16.9
6	18.3	16.6	61.4	18.2	18.7	22.9	12.7
4	11.6	10.6	46.3	13.6	14.2	17.6	9.6
3	8.0	7.2	36.1	10.8	10.8	13.7	7.2
2	4.0	3.6	25.6	7.6	8.0	8.5	5.7
1.5	1.7	1.5	18.7	4.8	5.3	3.8	4.4
1	1.1	0.9	14.9	3.7	4.3	2.4	3.9

Tablo 2-4'ün granülometri eğrileri de Şekil 2-1'dedir. Tablo 2-4 ve Şekil 2-1'de de görüldüğü gibi genelde puzzolanlar araştırmada kullanılan çimentodan incedir. Puzzolanlar içinde en ince olanı ise silis dumanıdır. Ayrıca silis dumanı ve uçucu külün granülometrisi, Tablo 2-4'de; özgül ağırlığı ise Tablo 2-5 de görüldüğü gibi birbirine çok yakındır. Ancak bu puzzolanların puzzolanik özellikleri birbirinden farklı olarak bulunmuştur. Puzzolanlar içinde özgül alanı en yüksek olan, pirinç kabuğu külüdür.

Tablo 2-5 Puzzolanların Fiziksel Özellikleri

	Birim Ağır. (kg/m ³)	Özgül ağır. (kg/m ³)	İncelik Elek (90 μ)(200 μ)		Özgül Alan (cm ² /g)
P.kabuğu külü(M)	383	1900	3.6	0.2	560000*
P.kabuğu külü(C)	406	2020	2.8	0.1	—
Silis dumanı	192	2210	4.5	0.3	260000*
Uçucu kül	860	2200	8.0	0.2	4033
Curuf	1080	3080	10.0	0.4	2769
Tras	940	1900	10.0	1.0	1176

*: Özgül alan BET yöntemi ile diğerleri Blaine'e göre saptanmıştır.



Şekil 2-1 Çimento ve Puzzolanların Granülometrisi

2- Kimyasal deneyler: Tüm puzzolanların kimyasal analizi soda eritisi [88] ile Nuh Çimento San. A.Ş.'de yapılmıştır. Puzzolanların kimyasal analiz sonuçları Tablo 2-6'dadır. Bu tabloda, puzzolanlığı bir ölçüde belirleyen amorf silis (=çözünen silis) miktarları görülmektedir. Burada çözünen silisi en yüksek olan M serisi pirinç kabuğu külüdür, bunu silis dumanı, C serisi pirinç kabuğu külü, tras, uçucu kül ve cüruf izlemektedir.

Pirinç kabuğu külü ve uçucu külde kimyasal analizlere ilave olarak, yanmanın tam olup olmadığını anlamak için toplam karbon (C) tayini yapılmıştır. Ayrıca C tayini yapılan küllerde, uçucu madde, nem, kül miktarları da saptanmıştır. Toplam karbon Leybold-Heraeus CSA-2003

Tablo 2-6 Puzzolanların Kimyasal Analizi

%	P.k.külü (M) 400°C	P.k.külü (C) 500°C	Silis dumanı	Uçucu kül	Curuf	Tras
SiO ₂ (çözünen)	80,25	68,52	75,54	56,25*	35,85	61,45
Çözünmeyen kalıntı	7,25	15,08	17,46	-	0,32	35,74
Al ₂ O ₃	4,75	0,80	1,00	32,10	20,77	20,04
Fe ₂ O ₃	2,00	1,20	2,00	3,90	0,98	1,46
CaO	0,89	4,64	1,50	3,92	37,24	3,43
MgO	0,64	0,30	0,70	1,40	4,90	0,70
SO ₃	-	-	0,40	-	-	-
Kızdırma kaybı	4,05	8,64	0,66	2,22	-	12,15
Tayin edilemeyen	0,17	0,82	0,74	0,21	0,26	0,77
Toplam	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

(*) Uçucu küldeki çözünmeyen kalıntı tayin edilememiştir. Tablodaki silis toplam silistir.

marka C-S tayin cihazında; nem, uçucu madde, sabit karbon ve kül miktarları da Leco Mac 400 model kömür analiz fırınında saptanmıştır. Deney sonuçları Tablo 2-7'de verilmiştir.

Tablo 2-7 Küllerdeki Nem, Uçucu Madde, Sabit Karbon, Kül ve Toplam Karbon Miktarları

	P.kabuğu külü (M)	P.kabuğu külü (C)	Uçucu kül
Nem (%)	2,39	2,19	0,04
Uçucu madde (%)	6,64	5,49	1,44
Sabit C (%)	0,68	0,57	0,51
Kül (%)	90,25	91,74	97,99
Toplam C (%)	3,76	2,83	1,83

Tablo 2-7 incelendiğinde pirinç kabuğu küllerinin %90-92 kül içerdiği, yani, bir miktar daha organik bileşikler bulunduğu görülür.

3- Puzzolanik aktivite deneyleri: Puzzolanların aktivitesi mekanik ve kimyasal deneylerle belirlenmiştir. Tras Standardı [89] Uçucu kül [90] standartlarına göre mekanik deneylerle, Traslı Çimento-ya [91] göre de kimyasal yolla aktivite deneyleri yapılmıştır.

TS 25 [89] ve TS 639'a [90] göre puzzolanik aktivite için üretilen harçlarda, karışıma giren malzemelerin miktarları Tablo 2-8 de verilmiştir. Tablo 2-8 incelendiğinde harçlarda yayılma deneyi [92] ile saptanan yoğurma suyu miktarının farklı olduğu görülür. Bu fark, puzzolanların özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Buna göre puzzolanlar iki gruba ayrılmıştır. Pirinç kabuğu külü ile silis dumanı bir gruba; uçucu kül curuf, tras diğer bir gruba girmiştir.

Tablo 2-8 TS 25 [89] ve TS 39 'a [90] Göre Üretilen Harç Karışımları (Puzzolanik Aktivite Harçları) (gr)

TS 25	P.kabuğu külü (M)	P.kabuğu külü (C)	Silis dumanı	Uçucu	Curuf	Tras
Ca(OH) ₂	150	150	150	150	150	150
Puzzolan	250	267	293	291	408	252
St.kum	1350	1350	1350	1350	1350	1350
Su	385	385	385	285	285	285
TS 639 kum yerine puzz.						
Çimento	450	450	450	450	450	450
Puzzolan	112	112	112	112	112	112
St.kum	1238	1238	1238	1238	1238	1238
Su	300	300	300	250	250	250
TS 639 çimento yerine puzz.						
Çimento	293	293	293	293	293	293
Puzzolan	95,1	101,6	111	110,7	155	95,6
St.kum	1350	1350	1350	1350	1350	1350
Su	270	270	270	230	230	230

Tablo 2-8 deki TS 25'in harç karışım oranlarına göre üretilen puzzolanlı harçlarda 7'ci günde eğilme ve basınç deneyleri yapılmıştır. Deney sonuçları Tablo 2-9'dadır.

TS 25 [89] standardına göre üretilen harçlarda minimum eğilme dayanımı 1 N/mm², basınç dayanımı da 4 N/mm² olmalıdır. Tablo 2-9 da ise tüm puzzolanların dayanımlarının minimum değerlerden büyük olduğu

Tablo 2-9 TS 25'e [89] Göre Pozzolanların Pozzolanik Aktivitesi.

Pozzolan	Eğilme dayanımı (N/mm ²)	Basınc dayanımı (N/mm ²)
P.kabuğu külü (M)	1,4	4,8
P.kabuğu külü (C)	1,5	5,2
Silis dumanı	1,6	5,8
Uçucu kül	1,6	5,2
Curuf	2,0	6,9
Tras	2,3	5,4
TS 25 (minimum)	1,0	4,0

görölmektedir.

Pozzolanlarda pozzolanik aktivite TS 639'a [90] göre üretilen harçlarda da belirlenmiştir. Buna göre üretilen harçlarda pozzolanlar, kum yerine ve çimento yerine katılmıştır. Tablo 2-8 de karışımı verilen, kum yerine pozzolan katarak üretilen harçların eğilme ve basınç dayanımı sonuçları Tablo 2-10 dadır. Çimento yerine pozzolan katarak üretilen harçların dayanım sonuçları ise Tablo 2-11 de verilmiştir.

Tablo 2-10 da üretilen harçların, E/C oranı da görölmektedir. Pirinç kabuğu külü ve silis dumanı bulunan harçlarda E/C=0,67; uçucu kül, curuf, tras da ise bu oran 0,56 olmuştur. Tüm pozzolanlı harçlarda aynı su/çimento (E/C) oranı alındığında; uçucu kül, curuf tras da yayılma çok fazla olmuştur. Bir başka deyişle aşırı sulu bir harç karışımı elde edilmiştir. İşte bu nedenle harçlarda E/C oranı; 0,67 ve 0,56 alınmıştır.

Tablo 2-10 daki dayanımlar incelendiğinde; pirinç kabuğu külü ve silis dumanı içeren harçların, aynı E/C oranındaki şahit harcın dayanımını aştığı görölr. Hatta bu harçlardaki dayanım; E/C oranı 0,5 olan şahit harcın dayanımına bile yaklaşmaktadır. Tablo 2-2 de göröldüğü gibi araştırmada kullanılan çimentonun 28 günlük basınç dayanımı 44,6 N/mm²'dir. Yani; pirinç kabuğu külü ve silis dumanlı harçların E/C oranı 0,67 olmasına rağmen, E/C oranı 0,5 olan katkısız harcın dayanımına yaklaştığı görölmektedir.

Tablo 2-10 TS 639'a [90] Göre Pozzolanlı Harçların Mekanik Dayanımları (Pozzolan Kum Yerine Katılmıştır.)

Pozzolan	Eğilme dayanımı (N/mm ²)		Basınc dayanımı (N/mm ²)		E/C
	7 gün	28 gün	7 gün	28 gün	
Pirinç kabuğu külü (400°C)	5,6	7,4	28,4	41,6	0,67
Pirinç kabuğu külü (500°C)	6,4	7,6	29,4	43,5	0,67
Silis dumanı	4,8	7,4	24,8	46,9	0,67
Uçucu kül	5,2	7,2	25,1	40,5	0,56
Curuf	4,9	7,2	24,9	46,1	0,56
Tras	5,8	7,9	28,3	50,4	0,56
Çimento	4,5	6,1	18,3	27,2	0,67
	5,2	6,8	25,9	30,5	0,56

Pozzolanlı harçlar içinde uçucu külün 7 günlük basınç dayanımının, E/C=0,56 olan şahit harcın mukavemetine uymadığı görülür. Curufda ise 7 günlük eğilme ve basınç dayanımı, şahit harcın dayanımını sağlamamıştır. Ancak 28 günlük eğilme ve basınç dayanımlarında tüm pozzolanlarda, şahit harcın (E/C=0,67 ve 0,56 olanlar) dayanımına denk mukavemet elde edilmiştir.

TS 639'a [90] göre pozzolanlı harçlarda; çimento yerine pozzolan standartta belirtilen oranda hacimce katılarak da harç üretilmiştir. Üretilen harçların 28 günlük eğilme ve basınç dayanımları Tablo 2-11 de verilmiştir.

Tablo 2-11 TS 639'a Göre Pozzolanların Pozzolanik Aktivitesi

Pozzolan	Eğilme dayanımı (N/mm ²)	Basınc dayanımı (N/mm ²)	E/C
Pirinç kabuğu külü (400°C)	6,0	30,5	0,68
Pirinç kabuğu külü (500°C)	5,6	26,4	0,68
Silis dumanı	6,5	36,1	0,68
Uçucu kül	4,8	22,9	0,58
Curuf	5,7	29,7	0,58
Tras	5,1	29,0	0,58
Şahit harç	6,1	27,2	0,68
	6,0	31,0	0,58

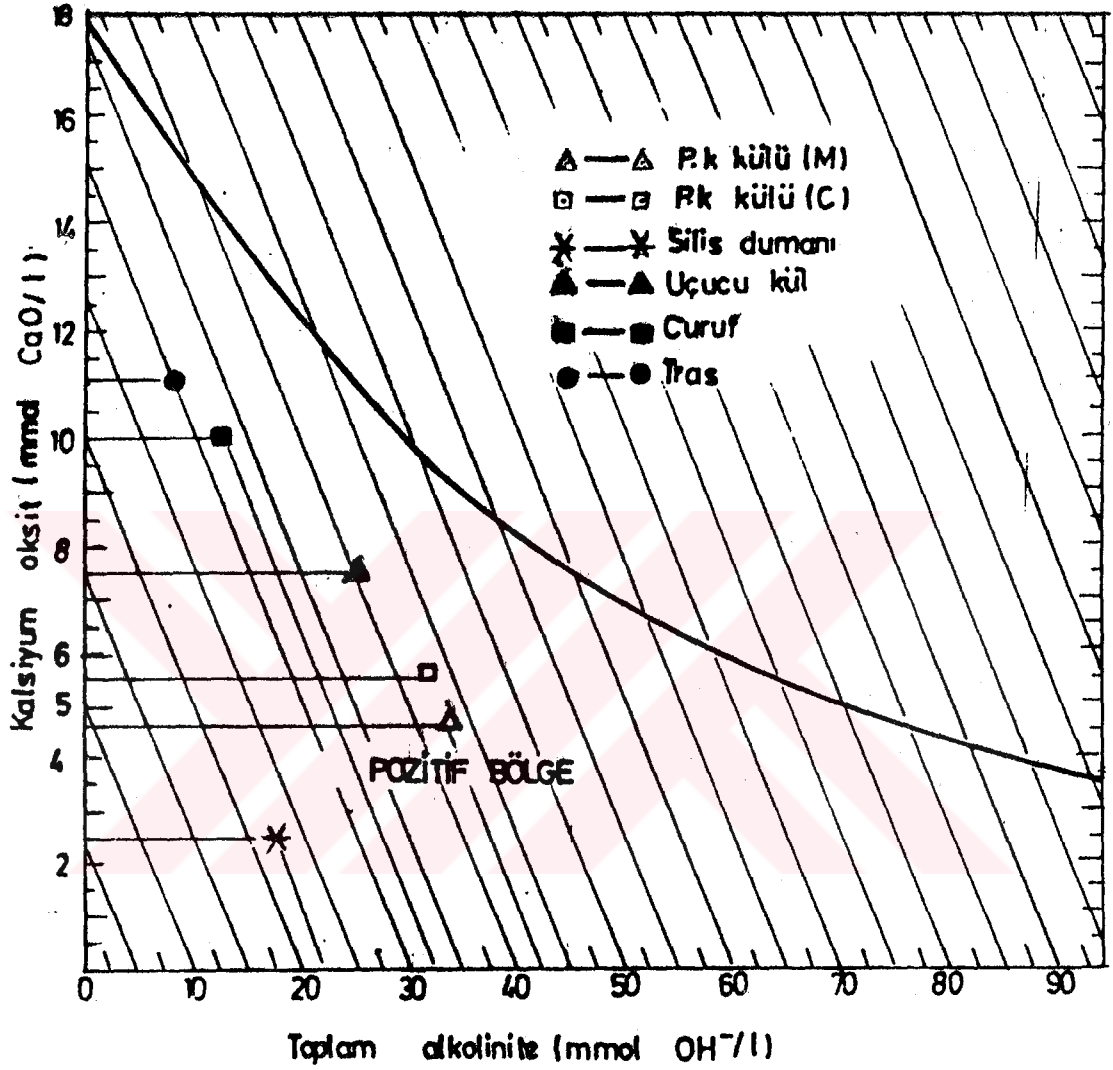
Yukardaki tabloda harçların E/C oranı, 0,68 ve 0,58 olarak iki gruptadır. Daha öncede belirtildiği gibi puzzolanların yayılma deneyi ile saptanan su gereksinimi farklı olduğu için E/C oranları farklı alınmıştır. Tablo 2-11 in incelendiği zaman tüm puzzolanlı harçların TS 639'a uyduğu görülür. Çünkü TS 639 için dayanım koşulu, şahit harcın dayanımının %70'idir. Tablo'daki dayanım değerlerinin, şahit harcın dayanımının %70'inden büyük olduğu görülmektedir.

Puzzolanlarda puzzolanik aktivite kimyasal deneylerle de belirlenmiştir. Bu deney, TS 26 Traslı Çimento Standardında, Traslı çimento su ile karıştırılarak 7'ci günde, çözeltideki CaO ve OH⁻ miktarları tespit edilerek gerçekleştirilir [91,93]. Bu yolla pirinç kabuğu külünde de puzzolanik aktivite deneyi yapılmaktadır [45,46]. Araştırma da da tüm puzzolanlar %20 oranında çimento ile karıştırılarak puzzolanlı karışımlar hazırlanmıştır. Bu karışımlar TS 26'da [91] belirtildiği gibi bir erlen içine konarak üstüne destile su ilave edilmiştir. Erlenin ağzı kapatılarak 40°C sıcaklıkta etüvde 7 gün bekletilmiştir. Yedinci günde erlen içindeki çözelti süzülerek; süzültüde CaO ve OH⁻ miktarları saptanmıştır. Deney sonuçlarına göre bulunan değerler mmol/lit olarak Tablo 2-12 de verilmiştir.

Tablo 2-12 TS 26'ya [91] Göre Puzzolanik Aktivite Deneyinde Bulunan CaO ve OH⁻ Değerleri

Puzzolanlı Çimentodaki Puzzolan	CaO (mmol/lit)	OH ⁻ (mmol/lit)
Pirinç kabuğu külü (400°C)	4,5	45
Pirinç kabuğu külü (500°C)	5,5	45
Silis dumanı	2,5	25
Uçucu kül	7,6	40
Curuf	10,1	35
Tras	11,1	30

Tablo 2-12'deki değerlere göre Şekil 2-2'deki noktalar saptanmıştır. Şekil 2-2 de görüldüğü gibi genelde tüm puzzolanlar pozitif bölgededir.



Şekil 2-2 TS 26 'ya [91] Göre Pozzolanlar ve CaO-OH^- Çözünürlük Eğrisi

4- Hidratasyon ısısı: Pozzolanların özelliklerinden biri de çimentonun hidratasyon ısısını düşürmesidir [4,14,80]. Bu nedenle pozzolanlı çimentolarda hidratasyon ısısı saptanmıştır. Araştırmada kullanılan pozzolanlarla, pozzolanlı çimento karışımları hazırlanmıştır. Bu karışımlar pozzolanın %20 oranında çimentoya ikame edilmesiyle elde edilmiştir. Hidratasyon ısısı, TS 687'ye [85] göre İsviçre yapımı Eschilt knech Ing. kalorimetresinde yapılmıştır.

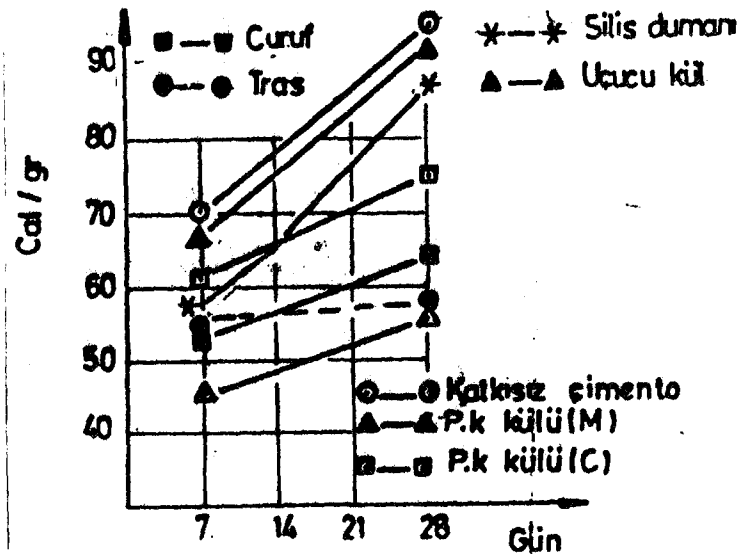
Araştırmada hidratasyon ısısı için hazırlanan puzzolanlı çimentolardan 75 gr. alınarak 40 gr. su ile karıştırılmıştır.

Araştırmada kullanılan puzzolanlı çimentoların toz ve hidrate halde hidratasyon ısısı Tablo 2-13 de verilmiştir. Tablo 2-13 deki değerlere göre zamanla hidratasyon ısısının değişimi Şekil 2-3 de çizilmiştir.

Tablo 2-13 Katkısız Çimento ve Puzzolanlı Çimentoların Hidratasyon Isısı (cal/g)

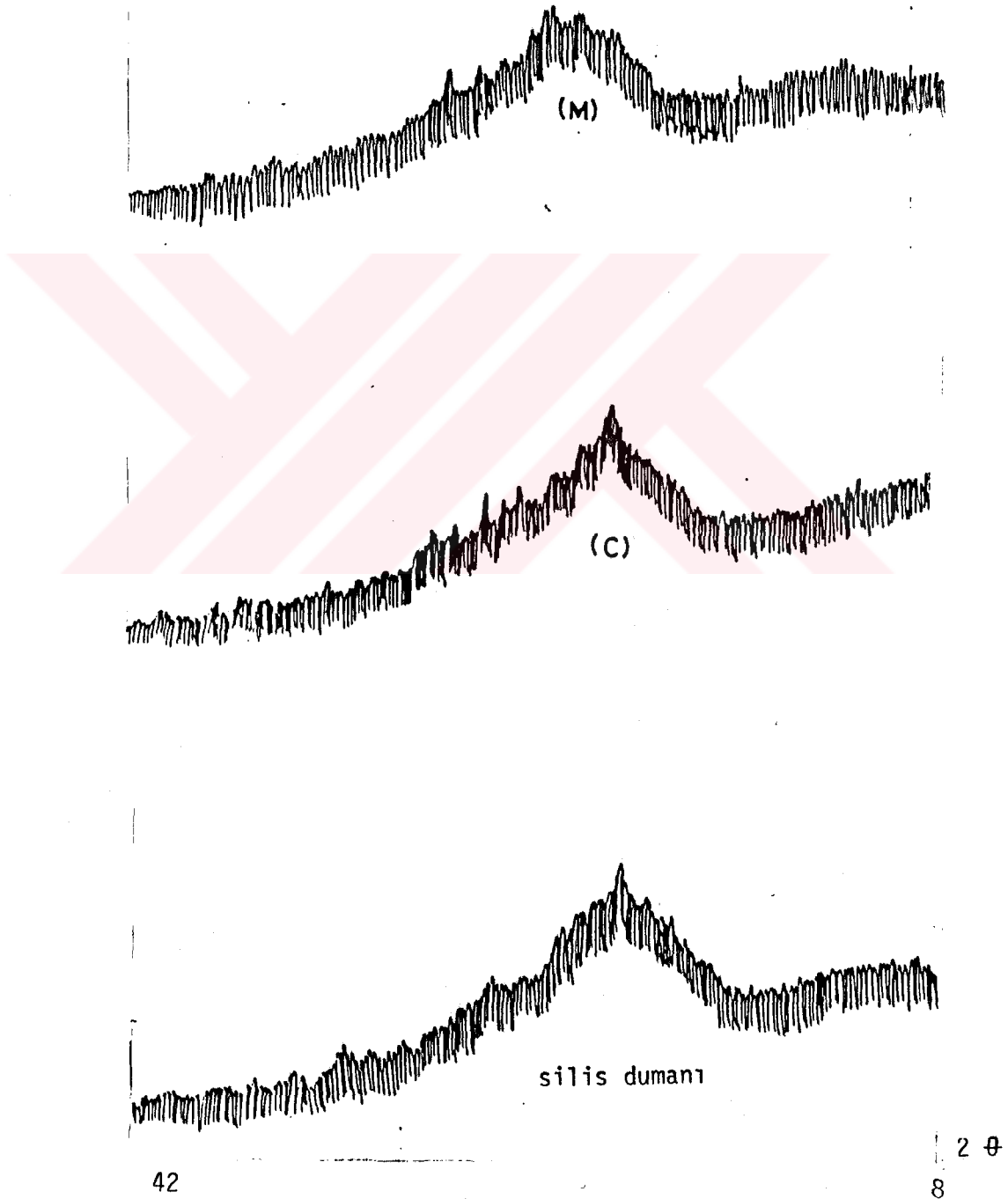
Çimento türü	Toz halde çimento	Hidrate halde çimento 7 gün	Hidrate halde çimento 28 gün
Katkısız çimento	661	70	95
P.k.küllü çimento (400°C)	645	45	56
P.k.küllü çimento (500°C)	653	61	76
Silis dumanlı çimento	644	55	87
Uçucu küllü çimento	624	67	92
Curufllu çimento	651	53	64
Traslı çimento	627	55	58

Tablo 2-13'de de görüldüğü gibi puzzolanlı çimentoların hidratasyon ısısı normal portland çimentosundan düşüktür. Pirinç kabuğu küllü çimentonun da hidratasyon ısısı belirgin bir şekilde portland çimentosundan azdır. Böylece puzzolanların, özellikle de pirinç kabuğu küllünün puzzolanıklığı bir başka yolla belirlenmektedir.



Şekil 2-3 Katkısız Çimento ve Puzzolanlı Çimentoların Hidratasyon Isısı

5- X-Işını Difraktometresi Sonuçları: Bu araştırmada pirinç kabuğu külü (M ve C serisi) ve silis dumanı X Işını Difraktometresi ile Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği Laboratuvarında incelenmiştir ve difraktogramları Şekil 2-4 de verilmiştir. Bu difraktogramlarda da görüldüğü gibi her üç puzzolanda da belirgin bir pik görülmemektedir, yani silis amorf haldedir. Bu bulguya literatürde de rastlanmıştır [34,35,40].



Şekil 2-4 Pirinç Kabuğu Külü (M ve C) ve Silis Dumanının X Işınları Difraktogramı.

2.1.3.1. Pirinç Kabuğu KÜLÜ

Pirinç kabuğu KÜLÜ, pirinç kabuklarının kontrollü bir şekilde yakılmasıyla elde edilmiştir.

Pirinç Kabukları:

Araştırmada kullanılan pirinç kabukları Ayvansaray Çeltik Fab.'-dan temin edilmiştir. Pirinç kabuklarının fiziksel ve kimyasal özellikleri 1.0. Orman Fakültesi'nde belirlenmiş, deney sonuçları Tablo 2-14 de verilmiştir.

Tablo 2-14 Pirinç Kabuğunun Özellikleri

Fiziksel Özellikler:

Nem %	9,2
Kül %	22,1
Birim ağırlık	100 kg/m ³
Özgül ağırlık	1125 kg/m ³
Su tutma %	72

Kimyasal Özellikler:

Ekstraktif madde %	9,5
Pentozan %	13,9
Kül %	22,1
Karbonhidrat %	54,1
Karbonhidrattaki lignin %	23,7
Karbonhidrattaki Holosellüloz %	75,7

Yukardaki tabloda kimyasal özellikler saptanırken, kabuktaki ekstraktif madde ve pentozan uzaklaştırıldıktan sonra, geri kalan kısımda sellüloz ve ligninden oluşan karbonhidratlı yapı belirlenmiştir.

Sellüloz, α , β , γ sellüloz şeklinde bulunur. α sellüloz, %17,5 NaOH veya %24 KOH çözeltisinde çözünmeyen sellüloz fraksiyonudur [94].

Araştırmada kullanılan ve değeri Tablo 2-14'de verilen kabuktaki bileşiklerden holosellülozun (tüm sellüloz) içinde %46 oranında α sellüloz vardır. Tablo 2-14'de kimyasal özellikleri belirlenen kabuklar, 800^o-900^oC de elektrik fırınında yakılarak kül elde edilmiştir. Burada 800^oC de yakılan kabuktaki kül miktarı %22,1 dir, bu küldeki SiO₂ ise %93,5 dur. Bu küldeki SiO₂'den kabuktaki SiO₂ miktarı hesaplanmış ve bu (kabuktaki) SiO₂ değeri %20,7 olarak bulunmuştur.

Araştırmada kullanılan küller ise 400^o ve 500^oC de elde edilmiştir. Bu küllerdeki SiO₂ %80-85'e yakındır. Oysa 900^oC deki küllerde SiO₂ %93,5 olarak bulunmuştur. Bu SiO₂ miktarındaki farklılık kabukların yakma sıcaklığı ve yakma koşullarından ileri gelmiştir. Bir başka deyişle 800^oC de tam bir yakma olmuştur. Ancak 800^oC gibi yüksek sıcaklıkta amorf silisin bir kısmı kristal yapıya dönüşmektedir [29,34,37,77]. Bu nedenle, çalışmada kabuk yakma sıcaklığı olarak 400^o ve 500^oC gibi daha düşük sıcaklıklar seçilmiştir.

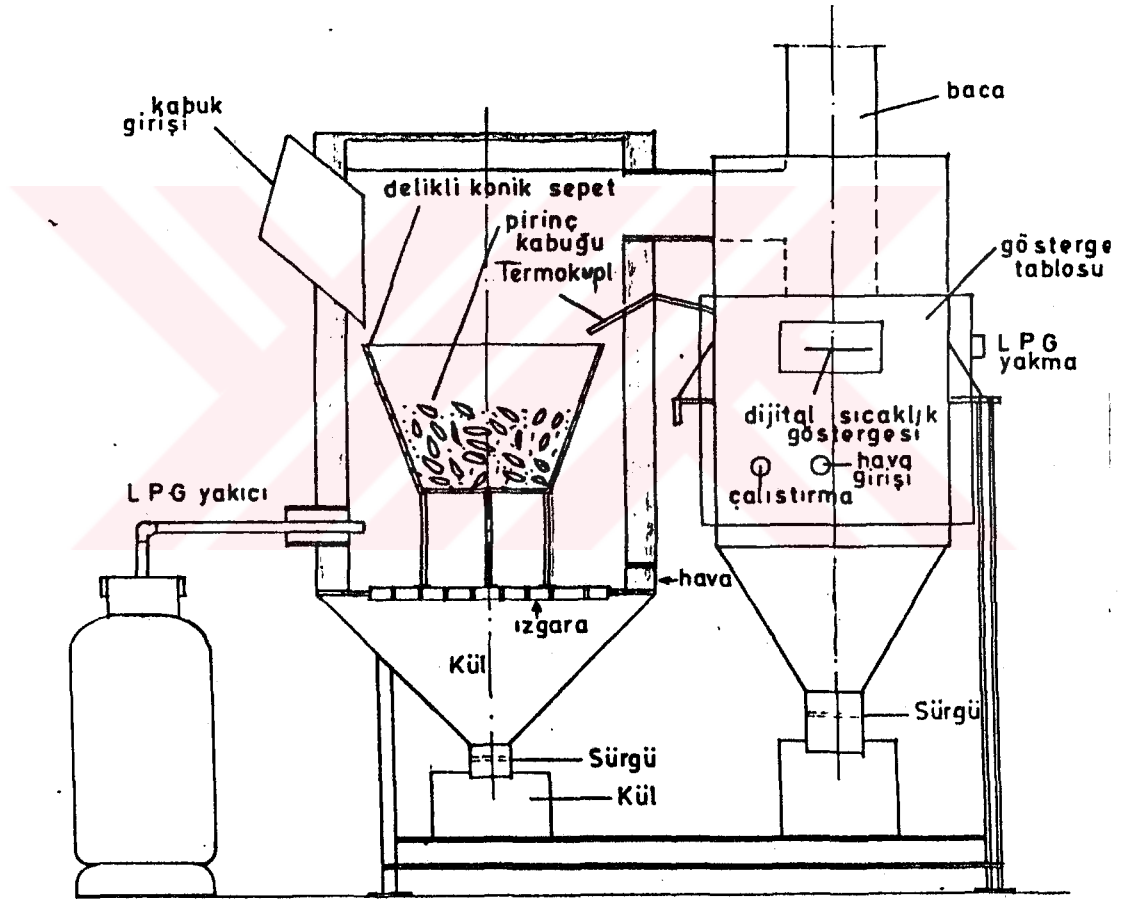
Pirinç kabuklarında su ve %1 NaOH çözeltisinde çözünürlük incelenmiştir. Çözünürlük suda %21,2, NaOH çözeltisinde ise %38,8 oranındadır. Suda çözünen kısım anorganik tuzların v.s. varlığını, NaOH çözeltisinde çözünen kısım da kabukta amorf silisin bulunduğunu kanıtlamaktadır.

Kabuk Yakma Fırını:

Kabuklar herhangi bir işleme tabi tutulmadan doğrudan doğruya yakılmıştır. Literatürde ise bazı çalışmalarda kabuklar yıkanıp kurutulduktan sonra bazı çözeltilerde bekletilmiş ve bunu takiben yakma işlemi uygulanarak kül elde edilmiştir [23,38,41]. Bu araştırmada ise kabuklar herhangi bir çözeltiye emdirilmeden doğrudan yakılmıştır. Bu şekilde yakma işleminin, pratikteki duruma daha uygun olacağı düşünülmüştür. Araştırmanın ilk aşamasında elektrikli laboratuvar fırınından yararlanılmıştır. Bu fırında ön deneyler için 400^o, 500^o, 600^o ve 800^oC derecelerde kabuk yakılarak kül elde edilmiştir. Elde edilen küller çimentoya katılarak harç üretilmiştir. Elde edilen deneysel sonuçlardan optimum yakma sıcaklığının 400^o ve 500^oC olduğu saptanmıştır. Bu fırında kabuklar yakıldığında %22 oranında kül elde edildiği görülmüştür. Laboratuvar fırınının küçük hacminde bu araştırma için

gerekli kül miktarını sağlamak mümkün olamadığı için LPG (Likid Petrol Gazı) ile çalışan özel bir fırın dizayn edilmiştir.

Araştırmada kullanılan Şekil 2-5 de görülen fırında sıcaklık dijital olarak ölçülmekte ve sabit tutulmaktadır. Fırın, silindirik şeklindedir. ($\varnothing=50$ cm, $h=100$ cm), içi ateşe dayanıklı tuğla ile kaplıdır. Kabuklar üstten doldurulup, kül de alttan alınmıştır.



Şekil 2-5 LPG ile Çalışan Kabuk Yakma Fırını.

Fırında kabukların yanması için hava yakıt karışımı çok önemli olmuştur. Yakma esnasında kabuklar yeterli O_2 'ni alamadığı zaman kabukların iç kısmında tam yanma sağlanamamıştır. Oysa hava ve yakıtla

temas eden dış kısmında yanma tam olmuştur. Yanmanın tam olduğu elde edilen küllerin renginden anlaşılmıştır. Çünkü, kabuklar fırın yandığında homogen şekilde beyaz kül elde edilmektedir. Çeşitli deneylerden sonra verimli bir yanma için fırının içine Şekil 2-5'de görüldüğü gibi çelikten yapılmış, 5-6 mm çapında delikli, 15 cm'lik ayaklar üstüne oturtulan bir sepet yerleştirilmiştir. Yakma işlemi bu sepetçik içinde gerçekleştirilmiştir.

Yakma sırasında ilk 15 dakikada organik bileşiklerin yanma ürünü gaz olarak çıkar. Bu sırada kabuklar, kirli sarıdan siyaha doğru giderek kömürleşir. Buna yarı yanmış kabuk denebilir. Bunu takiben kabuk tabakasının kalınlığına bağlı olarak 1 saat 15 dak. içinde yarı yanmış kabuklar tamamen yanarak gri beyaz renkte kül elde edilir. Bu araştırmada gri beyaz renkte kül elde edebilmek için geçen süre deneysel olarak 1,5 saat şeklinde belirlenmiştir. Deneyle bulunan bu yakma süresine literatürde de rastlanmıştır [17,34,35,38,39,40]. Araştırmada 400° ve 500°C lik iki değişik yakma sıcaklığında, yakma süresi 1,5 saattir. Yakma süresi uzatıldığında küllerin birbiri ile kaynaşarak topaklanmış gibi bir görünüme sahip olduğu gözlenmiştir. İşte bu deneylerle yakma süresi deneysel olarak 1,5 saat olarak saptanmıştır. Ancak bazı araştırmalarda optimum yakma süresini belirlemek için 1, 2, 3, 5, 8, 24, 30 saat gibi yakma süresi denenmiştir [20,21,34,35,38,41, 53]. Bu sürenin değişkenliği kabuk tabakasının kalınlığına bağlıdır. Çünkü, kabuk tabakası kalınlaştıkça oksijenin diffüzyonu zorlaşmaktadır. O nedenle yakma süresi deneysel olarak saptanmaktadır. Burada, deneyler sırasında kabukların tam yanmış olması, küllerin gri beyaz renginden de anlaşılmaktadır.

Pirinç Kabuğu Külü:

Pirinç kabuğunun 400°-500°C den daha yüksek sıcaklıklarda yakılmasıyla elde edilen küllerde amorf özellik yavaş yavaş azalmaktadır. Pirinç kabuğu külündeki silisin amorf özelliği yakma sıcaklığından başka, yakma işleminden sonra gerçekleştirilen soğutma işlemine de bağlıdır. Araştırmada, fırından çıkarılan küller, laboratuvar ortamında ani olarak soğutulmuştur. Böylece amorf silis oluşumu korunmuştur. Bu, Şekil 2-4 de X-ışını difraktogramı sonuçlarında görülmektedir.

Elde edilen küllerin bu hali yani inceliği çimentoya katmak için yeterli değildir. Bu nedenle küllerin öğütülerek inceltilmesi gerekmektedir. Öretilen küller Akçimento SA Sanayii A.Ş.'de değirmende öğütülmüştür.

Öğütme işlemi sonunda küller, değirmende bulunan 200 μ 'luk elekten geçirilmiştir. Öğütülen küllerin granülometrisi Tablo 2-4 ve Şekil 2-1 de verilmiştir. Bu tablo ve şekilde her iki seri pirinç kabuğu külünün çimento; tras, curufdan daha ince olduğu görülmüştür.

Pirinç kabuğu külünün inceliğini belirlemek için özgül yüzey deneyi de yapılmıştır.

Özgül yüzey, çimento ve diğer Puzzolanlarda Blaine hava geçirgenliği prensibine göre, pirinç kabuğu külü ve silis dumanı gibi çok ince malzemelerde ise B.E.T. (Brunauer, Emmett, Teller) [95]. Yöntemi ile belirlenmektedir.

Araştırmada kullanılan pirinç kabuğu küllerinden M serisinde yani 400°C de elde edilen küllerde ve küle benzeyen silis dumanında da BET yöntemi ile özgül yüzey saptanmıştır. Bu deney Northwestern (U.S.A.) Üniversitesi'nde yaptırılmış ve deney sonuçları Tablo 2-5 de verilmiştir. Tabloda da görüldüğü gibi pirinç kabuğu külünün özgül yüzeyi, silis dumanının özgül yüzeyinin iki katıdır. Bu bulgu, silis dumanı ve pirinç kabuğu külünün literatürde verilen özgül yüzey değerlerine uymaktadır [8].

Öğütülmüş pirinç kabuğu külünün özgül yüzeyinin 560 000 cm^2/gr gibi büyük bir değere sahip olması çimento harcı üretiminde su gereksiniminin artmasına sebep olur.

Pirinç kabuğu külünde puzzolanik aktivitenin araştırılması:

Üğütölmüş küllerde pozzolanik özellik, fiziksel, kimyasal ve mekanik deneylerle araştırılmıştır. Bu deneyler ve sonuçları 2.1.3 no-lu paragrafta sırasıyla verilmiştir. Küllerin granölometrisi Tablo 2-4 de incelendiğinde 192 μ da kalıntı %0, 96 μ da ise %2-3 olduğu göröölür. Oysa araştırmada kullanılan çimentoda 192 μ da kalıntı %0, 96 μ da ise %10 dur. Bu pirinç kabuğu külünün, çimentodan çok daha ince olduğunu gösterir. Ancak pirinç kabuğu külüne benzer puzzolanik özellikteki silis dumanında ise 192 ve 96 μ 'da kalıntı yoktur. Tablo 2-4 de görööldüğü gibi silis dumanının en büyük tane çapı 32 μ 'dur. Oysa llehta'nın araştırmasında silis dumanının daha da ince yani en büyük tane boyutunun 0.1 μ olduğu göröölür [8].

Pirinç kabuğu küllerinin kimyasal özellikleri Tablo 2-6 da incelendiğinde M serisinde çözünmeyen kalıntı %7, C'de ise %15 olduğu göröölür. Çözünmeyen kalıntının düşöklüğü, başka deyişle çözünen silisin fazlalığı pirinç kabuğu külünü aktif kılmaktadır. Küllerin puzzolanik aktifliği, diğör dayanım ve dayanıklılık deneylerinde de göröölmemektedir.

Küllerde yanmanın tam olup olmadığını araştırmak için C miktarı da saptanmıştır. Tablo 2-7 de küllerin toplam C içeriğinin %3-4 olduğu göröölümüştür. Bu toplam C miktarı kabukların iyi yandığını ifade etmektedir. Aynı tabloda uçucu küldeki C miktarının ~%2 olduğu göröölür. Bu sonuca göre, uçucu külün pirinç kabuğu külü kadar aktif olması gerekirken, yapılan puzzolanik aktivite deneylerinde, pirinç kabuğu külü ve silis dumanı kadar aktif olmadığı saptanmıştır. Bunun nedeni, uçucu küldeki toplam silis miktarının pirinç kabuğu külü ve silis dumanındaki silisten az oluşuna bağlanabilir.

Pirinç kabuğu külünün puzzolanik aktivitesi Tablo 2-8 de karışım oranları verilen harçlarla araştırılmıştır. Harçların mekanik özellikleri Tablo 2-9,10 ve 11de verilmiştir. Bu tablolara göre pirinç kabuğu külünün puzzolanik özelliklerinin ilgili standartlardaki (TS 25, TS 639) değöerlere uyduğu göröölmemektedir.

Puzzolanlarda bilinen bir başka özellik de puzzolanların hidrasyon ısıısını düşürmesidir. Bu nedenle küllerin ve diğer puzzolanların çimento hamurunun hidrasyon ısılarına etkileri ölçülmüştür [85] ve birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar Tablo 2-12 ve Şekil 2-3 de verilmiştir. Buradan pirinç kabuğu küllerinden M serisinin puzzolanlar içinde en düşük, C serisinin ise silis dumanı ile curuf arasında olduğu, tüm puzzolanların saf çimentodan düşük hidrasyon ısıısı verdiği görülmektedir.

2.1.3.2. Silis Dumanı (=Silica fume)

Silis dumanı (=Silica fume), Etibank Ferro-Krom Tesislerinden temin edilmiştir. Ferro krom tesislerinde ferro krom, ferro silis, siliko ferro krom alaşımları üretilmektedir. Çok ince toz halde üretim atığı olarak ortaya çıkan silis dumanı araştırmada pirinç kabuğu külü puzzolanı ile karşılaştırmak için kullanılmıştır.

Silis dumanında puzzolanik aktivite araştırıldığında aktif bir puzzolan olduğu görülmüştür.

2.1.3.3. Uçucu Kül (=Fly ash)

Uçucu kül, Zonguldak Çatalağzı Termik Santralından temin edilmiştir. Santralda elektrofilterede tutulan uçucu kül çimentodan iridir. Bu nedenle öğütülerek çimentoya katılmıştır.

Uçucu külün puzzolanik özellikleri diğer puzzolanlarda olduğu gibi araştırılmış ve sonuçları Tablo 2-9,10 ve 11 de verilmiştir. Bu tablolardan çıkarılan sonuç, uçucu külün puzzolanik karaktere sahip olduğu, ancak sınırda kaldığıdır. Ayrıca yapay puzzolan olarak niteleştirilen pirinç kabuğu külü ve/veya silis dumanına da benzemediği görülmektedir.

2.1.3.4. Yüksek Fırın Curufu (=Blast furnace slag)

Araştırmada karşılaştırılan yapay puzzolanlardan biri de yüksek fırın curufudur, Zonguldak Ereğli Demir Çelik Fab.'dan sağlanmıştır. Granüle haldeki curuf, çimento inceliğinde öğütüldükten sonra çimentoya katılmıştır.

Curufda, diğer puzzolanlarda yapılan, fiziksel, kimyasal, puzzolanik aktivite, hidrasyon ısı deneyleri yapılmıştır. Özellikle, puzzolanik aktivite testlerinde, curuf uçucu küle benzemektedir. Yani, puzzolanik aktivitede mekanik özelliklerin sınırda olduğu görülmüştür.

2.1.3.5. Tras

Puzzolanlar içinde doğal puzzolan olan tras Bursa yakınındaki Karamürsel'den temin edilmiştir. Tras, çimento fabrikasında, çimento değirmenlerinde klinker ve alçıtaşı ile birlikte öğütülerek kullanılmaktadır.

Trasın, Tablo 2- 9 -- 2-12'deki deney sonuçlarına göre puzzolanik karakter gösterdiğini söylemek mümkündür.

2.1.4. Süperplastifiyan Katkı

Pirinç kabuğu külünün su gereksinimi fazla olduğu için, küllü harçlarda su, süperplastifiyan ithal katkı ile azaltılmak istenmiştir. Bunun için Rheobuild 716 süperplastifiyan ithal katkı kullanılmıştır. Katkının bileşimi naftalin formaldehit sülfonat'dır, (çimento+pirinç kabuğu külünün) ağırlığının %2'si oranında küllü ve şahit harçların üretiminde, harç karıştırma suyuna katılarak kullanılmıştır.

2.2. Harç Karışımları

2.2.1. Üretilen Harçların Karışımları

Harçlar TS 24 [83] esas alınarak üretilmiştir. Üretilen harçlar şahit ve küllü harçlar olmak üzere iki tiptir. Küllü harçlar, pirinç kabuklarının yakma sıcaklığı 400°C (M serisi) ve 500°C (C serisi) olmasına göre iki grupta hazırlanmıştır. Harç karışımında TS 24'de belirtilen 225 g su yerine 250 g alınmıştır. Ancak bu su miktarı ile gerekli kıvam sağlanamadığı için süper akışkanlaştırıcı katılmıştır. Çünkü, külün su gereksinimi fazladır. Harç üretiminde, 250 g su ve 9 g süper akışkanlaştırıcı ile istenen kıvam sağlanmıştır. Harçların karışımı Tablo 2-15 de verilmiştir. Bu tablodaki değerler, 1 m³ harç içindeki gerçek malzeme miktarlarıdır.

Tablo 2-15 Harç Karışımları

Harç cinsi		Çimento (kg)	Kül (kg)	Kum (kg)	Su (kg)	Süperakış akışkanlaştırıcı (kg)	Hava boşluğu (%)
Şahit		456	0	1370	254	9.1	8.2
M Serisi	M ₁	395	44	1318	244	8.8	10.0
	M ₂	360	90	1350	250	9.0	6.8
	M ₃	323	138	1383	256	9.2	4.7
C Serisi	C ₁	405	45	1350	250	9.0	8.0
	C ₂	362	90	1357	251	9.0	6.8
	C ₃	323	138	1383	256	9.2	4.1

Küllü harçlarda pirinç kabuğu külü, çimento ağırlığının %10, 20, 30'u oranında çimento ile yer değiştirerek (=ikame) çimentoya katılmıştır. Küllü ve şahit harçlarda su+süperplastifiyan/çimento+kül oranı 0,57 olarak sabit tutulmuştur.

2.2.2. Üretilen Harçların Kodlanması

Üretilen harçlar pirinç kabuklarının yakma sıcaklığına göre kodlanmıştır. Harç Kodları Tablo 2-16 da verilmiştir.

Tablo 2-16 Harçların Kodları

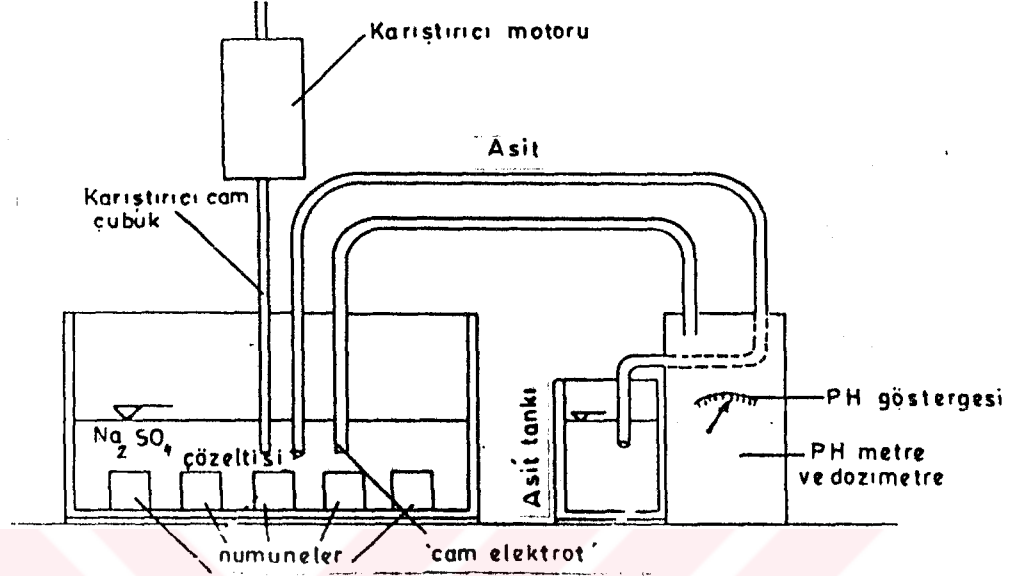
Şahit Harç		S
Sıc.(°C)	Ekame kül oranı (%)	-
400	10	M1
	20	M2
	30	M3
500	10	C1
	20	C2
	30	C3

2.2.3. Harç Üretimi, Numunenin Şekli ve Boyutları, Saklama Koşulları

TS 24 [83] esas alınarak Tablo 2-15'de karışımları verilen harçlar, ortam sıcaklığı $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$, bağıl nemi $\%50 \pm 5$ olan laboratuvar koşullarında üretilmiştir. Boy değişimi ölçülecek numunelere üretim sırasında pim takılmıştır.

Prizma şeklinde 4x4x16 cm. boyutlarındaki numuneler üretimden 24 saat sonra kalıptan çıkarılmış ve $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ 'lik şehir suyuyla 27 gün bekletilmiştir. Üretimden sonraki 28'ci günde sudan çıkartılan bir grup numunede mekanik deneyler yapılarak dayanımlar belirlenmiştir. Diğer iki gruptan biri saf suya, diğeri saf su ile hazırlanmış sodyum sülfat çözeltisine konmuştur. Harçlar üzerindeki sülfat kuru Yıldız Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesinde yapılmıştır.

Sodyum sülfat çözeltisi $0,35 \text{ M Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ şeklinde hazırlanmıştır. Çözeltinin pH'ı Şekil 2-6 de gösterilen düzeneğe 6+2 aralığında sabit tutulmuştur.



Şekil 2-6 Numunelerin Na_2SO_4 Etkisinde Bırakıldığı Düzenek

pH yükseldiğinde, düzenekteki asit tankından otomatik olarak alınan H_2SO_4 çözeltisi ile numunelerin bulunduğu çözelti titre edilerek pH, 6'ya getirilmiştir [96,97].

2.3. Deneyler

Öretilen harçlarda taze ve sertleşmiş harç deneyleri yapılmıştır.

2.3.1. Taze Harç Deneyleri

Şahit ve küllü harçlarda, taze harç deneyi olarak birim ağırlık yayılma deneyleri yapılmıştır.

2.3.1.1. Birim Ağırlık Deneyi

Birim ağırlık deneyi için hacim ve darası belli olan kap kullanılmıştır. Taze harç, bu kap içine şişle yerleştirildikten sonra birim ağırlık belirlenmiştir.

2.3.1.2. Yayılma Deneyi

Taze harçlardaki yayılma deneyi için, çapları 7 ve 10 cm, yüksekliği 5 cm olan kesik koni şeklinde kalıp kullanılmıştır. Sarsma tablası üstüne konan kalıp içine, taze harç yerleştirildikten sonra kalıp çıkarılmıştır ve sarsılmıştır. Deneyden sonraki son çap (D') ile deneyden önceki ilk çap (D)'dan yayılma ($Y=D'/D$) hesaplanmıştır. [92]

2.3.2. Sertleşmiş Harç Deneyleri

Sertleşmiş harçta, su ve sülfat çözeltisinde bekleyen numunelerde, eğilme, basınç, kılcallık, su emme, birim ağırlık, rötire, ağırlık, boy değişimi deneyleri yapılmıştır.

2.3.2.1. Eğilme Dayanımı Deneyi

Sertleşmiş harçlarda eğilme deneyleri 0., 4., 8. ve 12.ci haftalarda TS 24'e [83] uygun olarak Tonindustrie eğilme aletinde yapılmıştır. 0 numune yaşı, harç üretiminin 28.ci günü, numunelerin su ve sülfat çözeltisine konduğu başlangıç anını ifade etmektedir.

2.3.2.2. Basınç Dayanımı Deneyi

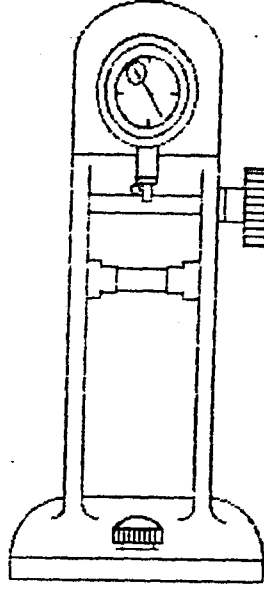
Eğilme dayanımı deneyinde kırılan parçalar üzerinde TS 24'e [83] göre yapılan basınç deneyi 10 ton'luk Amsler marka presde gerçekleştirilmiştir. Eğilme ve basınç dayanımı deneyi aynı günde yapıldığı için numune yaşı, eğilme dayanımı deneyi ile aynıdır.

2.3.2.3. Ağırlık Değişimi Deneyi

Harç numuneleri kalıptan çıkarıldıktan sonra 0,01 g duyarlıklı terazide tartılmıştır. Üretimden sonraki 28'ci güne kadar su içinde saklanan numuneler, 3., 7., 14., 21.'ci günlerde, su ve sülfat çözeltisinde kürlen numuneler 4., 8. ve 12.'ci kür haftalarında da sudan ve sülfat çözeltisinden çıkarılarak tartılmıştır. Tüm tartım işlemlerinden önce harçların yüzeyi kurulanmıştır.

2.3.2.4. Boy Değişimi Deneyi

Pimli üretilen harçlarda boy değişimi Şekil 2-7 de verilen boy ölçme aletindeki 1/100 mm. duyarlıklı komparatör ile, üretimden sonraki 1., 3., 7., 14., 21. ve 28.'ci gün, 8., 10., 12.'ci kür haftalarında ölçülmüştür. Ayrıca havada bekletilen numunelerin boyları da üretimden sonraki 1., 3., 7., 14., 21., ve 28.'ci gün, 8., 10., 12. ve 16.'ci haftalarda ölçülmüştür.



Şekil 2-7 Boy Değişim Ölçüm Aleti

2.3.2.5. Kılcallık Deneyi

Öretilen harçlarda, 4 ve 12 haftalık kürden sonra kılcallık deneyi yapılmıştır. Bu deney için 4x4x16 cm boyutlu numuneler ortadan kesilip 105°C lik etüvde kuru ağırlığa gelene kadar kurutulmuştur. Etüvden çıkarıldıktan sonra numuneler desikatörde tutulmuştur. Kılcallık deneyine başlamadan önce numunelerin 4x4 cm'lik yüzey su ile temas edecek şekilde, yalnız yan yüzler parafinle kapatılmıştır. Kılcallık deneyinde, tabandan kılcal olarak emilen su miktarı, numunelerin 1., 4., 9., 16. ve 25.'ci dakikalarda 0,01 g duyarlıklı terazide tartılmasıyla belirlenmiştir [66].

2.3.2.6. Su Emme ve Birim Ağırlık Deneyleri

Kılcallık deneyinden sonra numuneler, su dolu kabın içine konarak 48 saat suya doyurulmuştur. Sudan çıkarılan numuneler 0,01 g. duyarlıklı terazide tartılarak emdiği su miktarı ve Arşimet prensibinden yararlanarak hacmi belirlenmiştir. Buna göre su emme ve birim ağırlık

saptanmıştır.

2.3.3. X Işını Difraktometresi İncelemesi

Öretilen harçlar su ve sülfat çözeltisinde bekletildikten ve mekanik deneylerden sonra toz haline getirilmiştir. Toz haline getirilen numunelerin X-Işını Difraksiyon diyagramlarının eldesinde Philips Marka Cu hedefli PH (1140 /90) X Işını Difraktometresi kullanılmıştır.

X ışını difraksiyon diyagramları $2\theta=6-67^\circ$ aralığında kaydedilmiş ve elde edilen verilere göre fazların karakteristik pikleri belirlenmiştir.

2.3.4. Elektron Mikroskobu İncelemesi

Sülfat çözeltisinde bekletilen M serisi harçlarda taramalı elektron mikroskobu (S.E.M.) ile mikroyapı incelenmiştir. X ışını difraktometresinde kullanılan toz haldeki örnekler Leitz Amr. marka S.E.M. ile 500, 1000, 2000 kez büyütülmüş ve fotoğrafları saptanmıştır.

Şahit ve M serisi harçların X-ışını difraktometresi ve elektron mikroskobu incelemeleri Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği Laboratuvarlarında, C serisi harçların XRD incelemeleri ise İTÜ Kimya Metalurji Fakültesinde yapılmıştır.

BÖLÜM 3. DENEY SONUÇLARI

Bu bölümde, gerekli hesaplar yapılarak elde edilen sonuçların ortalaması alınmış ve deney sonuçları tablolar halinde verilmiştir.

3.1. Taze Harç Deney Sonuçları

Taze harç deneyleri olarak yapılan yayılma ve birim ağırlık deneyi sonuçları Tablo 3-1 de verilmiştir.

Tablo 3-1 Taze Harçlarda Yayılma ve Birim Ağırlık

Harç kodu	Kül (%)	Yayılma (D'/D)	Birim ağırlık (kg/dm ³)
S	0	>3	2,09
M1	10	2,50	2,01
M2	20	2,00	2,06
M3	30	1,56	2,11
C1	10	2,66	2,06
C2	20	2,16	2,07
C3	30	1,65	2,11

3.2. Sertleşmiş Harç Deneyi Sonuçları

Sertleşmiş harçlarda eğilme, basınç dayanımı, ağırlık, boy değişimi, kılcallık, su emme, birim ağırlık deneyleri yapılmıştır. Bu deneylerin sonuçları tablolar halinde verilmiştir.

3.2.1. Eğilme Dayanımı Deneyi Sonuçları

Su ve sülfat çözeltisinde bekletilen harç numunelerde kür yaşına göre (0, 4, 8, 12'ci haftalarda) eğilme dayanımı deneyleri yapılmıştır. Aşağıdaki formülle hesaplanan eğilme dayanımları ve şahit harcın başlangıçtaki dayanımına göre bulunan relatif değerler Tablo 3-2 ve Tablo 3-3 de verilmiştir. Su içinde bekletilen harçlarda eğilme dayanımları Tablo 3-2'de sülfat çözeltisinde bekletilen grubun ki ise, Tablo 3-3 dedir. Relatif değerler tablo da parantez içinde gösterilmiştir.

$$f_{CE} = \frac{\frac{P_k \cdot l}{4}}{\frac{b^3}{6}} = 1.5 \cdot \frac{P_k \cdot l}{b^3} \quad (3.1)$$

f_{CE} = Eğilme dayanımı (N/mm²)

P_k = Kırılma yükü (N)

l = Mesnetler arası açıklık (mm)

b = Prizma kare kesitinin boyutu (mm)

3.2.2. Basınc Dayanımı Deneyi Sonuçları

Eğilme deneyi sonunda kırılan iki prizmatik parça üzerinde basınç deneyi yapılmıştır. Basınc dayanımları ve şahit harcın başlangıçtaki dayanımına göre relatif değerleri hesaplanmıştır. Deney sonuçları Tablo 3-2 ve 3-3'de verilmiştir. Tablolar da parantez içindeki değerler relatif değerlerdir.

Tablo 3-2 Su içinde Bekleyen Harçları. Basınc ve Eğilme Dayanımı (N/mm²)

* Parantez içindeki sayılar 28 günden sonra kür haftasını göstermektedir.

** Parantez içindeki sayılar 4 haftalık sahde göre hesaplanan relatif değerleri göstermektedir.

Harç kodu	S	M1	M2	M3	C1	C2	C3
Yaş (Hafta)							
4 (0)*	34,3 (100)**	36,7 (107)	36,8 (107)	34,2 (100)	34,2 (100)	36,2 (106)	37,9 (110)
8 (4)	35,5 (103)	37,4 (109)	39,7 (116)	38,4 (112)	34,4 (100)	34,8 (101)	37,0 (108)
12 (8)	41,5 (121)	42,9 (125)	42,4 (124)	41,3 (120)	40,1 (117)	41,9 (122)	44,0 (128)
16 (12)	38,5 (112)	42,0 (122)	42,9 (125)	40,9 (119)	43,6 (127)	42,5 (124)	42,4 (124)
4 (0)	5,6 (100)**	6,4 (114)	6,4 (114)	7,0 (125)	5,8 (104)	6,2 (111)	7,0 (125)
8 (4)	6,0 (107)	6,3 (112)	6,2 (111)	6,9 (123)	6,2 (111)	6,4 (114)	7,5 (134)
12 (8)	5,7 (102)	7,0 (125)	6,4 (114)	7,3 (130)	6,2 (111)	6,4 (114)	7,3 (130)
16 (12)	6,1 (109)	6,6 (118)	6,2 (111)	7,1 (127)	6,8 (121)	6,0 (107)	7,4 (132)

Basınc Dayanımı

Eğilme Dayanımı

Tablo 3-3 Sülfat Çözeltisinde Bekleyen Harçların Basınc ve Eğilme Dayanımı

* Parantez içindeki sayılar 28 günden sonra kür haftasını göstermektedir.

** Parantezdeki sayılar 4 haftalık şahide göre hesaplanan relatif değerleri göstermektedir.

Yas (Hafta)	S	M1	M2	M3	C1	C2	C3
4 (0)*	34,3 (100)*	36,7 (107)	36,8 (107)	34,2 (100)	34,2 (100)	36,2 (106)	37,9 (110)
8 (4)	41,0 (120)	38,3 (112)	37,8 (110)	37,4 (109)	37,6 (110)	38,2 (111)	39,8 (116)
12 (8)	35,8 (104)	43,5 (127)	40,7 (118)	42,4 (123)	41,1 (120)	40,0 (117)	41,6 (121)
16 (12)	33,6 (98)	40,9 (119)	41,2 (120)	39,8 (116)	42,0 (122)	39,7 (116)	41,2 (120)
4 (0)	5,6 (100)*	6,4 (114)	6,4 (114)	7,0 (125)	5,8 (104)	6,2 (111)	7,0 (125)
8 (4)	6,2 (111)	7,4 (132)	7,4 (132)	8,0 (143)	7,3 (130)	6,8 (121)	7,7 (138)
12 (8)	6,4 (114)	7,4 (132)	7,9 (141)	8,4 (150)	7,3 (130)	7,7 (138)	8,3 (148)
16 (12)	3,6 (64)	7,5 (134)	7,8 (139)	7,9 (141)	7,7 (138)	7,4 (132)	7,8 (139)

Basınc Dayanımı

Eğilme Dayanımı

3.2.3. Ağırlık Değişimi Sonuçları

Su içinde, sülfat çözeltisinde, havada bekletilen numunelerde ağırlık değişimi hesaplanmıştır. Su ve sülfat çözeltisinden çıkarılan numunelerin yüzeyi kurulandıktan sonra, havadaki numuneler ise tozu alındıktan sonra, ağırlık değişimi yüzdesi aşağıdaki formülle bulunmuştur.

$$W_D = \frac{W_t - W_o}{W_o} \times 100 \quad (3.2)$$

W_D : Ağırlık değişimi (%)
 W_t : t - süredeki ağırlık (g)
 W_o : Başlangıçtaki ağırlık (g)

Harçlar kalıptan çıkarıldıktan sonra bir günlük birim ağırlıkları bulunmuştur. Harçların bir günlük birim ağırlıkları Tablo 3-4 de verilmiştir.

Tablo 3-4 Sertleşmiş Harçların Bir Günlük Birim Ağırlıkları

Harç Kodu	Kül (%)	Birim ağırlık (kg/dm ³)
S	0	2,30
M1	10	2,25
M2	20	2,18
M3	30	2,14
C1	10	2,25
C2	20	2,16
C3	30	2,16

Su içinde ve sülfat çözeltisinde bekletilen numunelerin ağırlık değişimi Tablo 3-5 de, havada bekletilenlerinki ise Tablo 3-6 da verilmiştir. Tablolarda görüldüğü gibi, su içinde bekletilen numunelerde

ağırlık artışı, sülfat çözeltisinde bekletilenlerde ağırlık artışı veya kaybı, havada bekletilen numunelerde ise ağırlık kaybı olmuştur.

3.2.4. Boy Değişimi Sonuçları

Numunelerde boy değişimi aşağıdaki formülle bulunmuştur.

$$l_D = \frac{l_t - l_o}{l_o} \quad (3.3)$$

l_D : Boy değişimi (μ/mm)

l_t : t süredeki boy (mm)

l_o : Başlangıçtaki boy (mm)

Su ve sülfat çözeltisinde bekletilen numunelerin boy değişimi Tablo 3-7 de, havada bekletilen numunelerin boy değişimi de Tablo 3-6 da verilmiştir.

3.2.5. Kılcallık Deneyi Sonuçları

Kılcallık deneyine göre kılcallık katsayısı aşağıdaki formülle hesaplanmıştır [66].

$$k = \frac{(Q/A)^2}{t} \quad (3.4)$$

k : Kılcallık katsayısı (cm^2/san)

Q : Emilen su miktarı (cm^3)

A : Su emdirilen yüzey (cm^2)

t : Geçen süre (saniye)

Kılcallık katsayısı sonuçları Tablo 3-8 de verilmiştir.

Tablo 3-6 Havada Bekletilen Harçlarda Ağırlık ve Boy Değişimi

Hafta	Gün	Yaş	Harç kodu	Ağırlık Azalması (%)						Rötre			x 10 ⁻³			
				M1	M2	M3	C1	C2	C3	S	M1	M2	M3	C1	C2	C3
Hafta		14	6	7,5	7,7	7,3	5,9	5,4	5,9	176	322	406	281	499	984	385
		21	6,4	8,5	8,9	8,6	9,8	10,2	10,6	260	375	511	450	531	687	666
		28	6,6	9,1	9,7	9,4	10,7	11,8	12,8	312	406	564	458	562	845	718
Hafta		8	7,1	10,5	12,3	12,7	11,2	13,7	15,9	354	500	708	646	645	968	927
		10	7,2	11,2	13,6	14,5	11,9	15,5	18,5	365	572	812	827	698	1072	1041
		12	7,0	11,4	14,6	15,9	10,6	14,4	17,9	406	593	906	844	687	1051	947
		16	5,1	9,6	13,0	14,5	8,2	12,1	15,5	406	605	833	801	614	1145	969

Tablo 3-7 Su ve Sülfat Çözeltisinde Bekletilen Harçların Boy Değişimi

Yas Haç kodu	gün 'hafta)	Su içinde Boy Değişimi (10-3)			Su içinde			Kürden Sonra Boy Değişimi (10-3) Sulfat Çözeltisinde					
		7	14	21	28	8 (4)	10 (6)	12 (8)	16 (12)	8 (4)	10 (6)	12 (8)	16 (12)
S	56	108	150	166	166	30	40	30	30	327	395	594	1072
M1	90	144	212	226	252	30	125	113	90	176	208	254	250
M2	88	208	215	275	294	30	30	30	30	170	140	165	140
M3	94	150	255	234	229	30	60	30	45	63	125	90	45
C1	112	160	176	198	218	40	45	52	52	75	81	107	166
C2	102	156	208	213	255	45	30	30	40	60	92	117	140
C3	123	198	276	268	288	60	45	30	30	70	90	137	114

3.2.6. Su Emme Değeri ve Birim Ağırlık Sonuçları

Su emme deneyindeki sonuçlarla hacımca su emme ve birim ağırlık aşağıdaki formüllerle hesaplanmıştır.

$$S_h = \frac{W_2 - W_1}{W_1 - W_3} \quad (\%) \quad (3.5)$$

$$\Delta = \frac{W_1}{W_1 - W_3} \quad (3.6)$$

S_h : Hacımca su emme değeri (%)

W_1 : Numunenin kuru ağırlığı (g)

W_2 : Numunenin su emmiş halde havadaki ağırlığı (g)

W_3 : Numunenin su emmiş halde su içindeki ağırlığı (g)

Δ : Birim ağırlık (g/cm³)

Hacımca su emme ve birim ağırlık deneyi sonuçları Tablo 3-8 de verilmiştir.

3.3. X-Işını Difraktometresi Sonuçları

Difraktometreden elde edilen difraktogramlarda, aşağıda formülü verilen Bragg bağıntısından yararlanarak kristallerin karakteristik yapısı belirlenmiştir [98].

$$n\lambda = 2.d.\sin \theta \quad (3.7)$$

λ : Monokromatik dalga boyu (Cu hedef için 1.54 Å⁰)

n : Sabit sayı (1 alınmıştır)

d : Rediküler uzaklık

θ : Gelme açısı

Tablo 3-8 Su ve Sülfat Çözeltisinde Bekletilen 4.'ve 12.'ci Haftalarında Kılcallık Katsayısı, Hacimsa Su Emme, Birim Ağırlık Değerleri
*) Parantez içindeki sayılar kür haftalarını göstermektedir.

Yaş	Kılcallık Katsayısı (cm ² /san)x10 ⁻⁶			Hacimsa Su Emme (S _H)			Birim Ağırlık (kg/dm ³)		
	Su	Sülfat		Su	Sülfat		Su	Sülfat	
Harç kodu	8	16		8	16				
	(4)*	(12)	(4)	(4)	(12)	(4)	(4)	(12)	(4)
S	9,7	10,4	9,7	17,5	17,9	19,4	2,12	2,10	2,08
M1	7,8	17,0	13,5	16,6	17,0	18,9	2,08	2,05	2,01
M2	7,6	17,0	13,5	18,5	16,5	19,6	1,96	1,98	1,97
M3	7,3	13,3	15,2	20,0	19,3	19,4	1,92	1,92	1,96
C1	12,5	13,8	14,2	18,9	19,4	19,4	2,03	2,03	2,02
C2	14,2	13,8	16,7	19,0	19,8	19,5	1,94	1,93	1,94
C3	12,9	14,2	16,7	18,9	20,3	19,6	1,93	1,90	1,89

Yukardaki bağıntıya göre bulunan (d) uzaklıklarından harçlarda-
ki kristaller saptanmış ve difraktogramlar üzerinde gösterilmiştir.
Portlandit Ca(OH)_2 ve ettringit'in varlığı da aşağıdaki Tablo 3-9 da
verilmiştir.

Tablo 3-9 Su ve Sülfat Çözeltisinde Bekletilen Harçların X Işını
Difraktogramı Sonuçları

Harç Kodu	Kül (%)	Su İçinde	Sülfat Çözeltisinde	
		Portlandit	Ettringite	Portlandit
S	0	+	+	+
M1, C1	10	+	+	+
M2, C2	20	-	-	-
M3, C3	30	-	-	-

Açıklama: +=var, -=yok.

3.4 Elektron Mikroskobu Sonuçları

Elektron mikroskobundan elde edilen, 500, 1000, 2000 ölçekle bü-
yütülmüş fotoğraflar EK.4.1 ilâ EK.4.4. de verilmiştir.

BÖLÜM 4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ VE İRDELENMESİ

Bölüm 3 deki deney sonuçlarının değerlendirilmesi ve irdelenmesi burada yapılmıştır. Bu bölümde, taze harç özelliklerinden yayılma, birim ağırlık; sertleşmiş harç özelliklerinden basınç ve eğilme dayanımı sonuçları, dayanıklılık (=durabilite) özelliklerinden ise kararlılık (ağırlık ve boy değişimleri), boşluk durumu (kılcallık, su, birim ağırlık, mikroyapı incelemesi), dayanım değişimi (basınç, eğilme dayanımı)'nın sonuçları değerlendirilmiş ve irdelenmiştir.

4.1. Taze Harç Özelliklerinin Değerlendirilmesi ve İrdelenmesi

Taze harçlarda yayılma, Tablo 3-1 de görüldüğü gibi kül miktarının artmasıyla azalmaktadır. Bu bulgu, külün ince oluşu nedeniyle yoğurma suyu gereksiniminin artmasına bağlıdır. Ayrıca, kabuk yakma sıcaklığının da yayılmaya etki ettiği söylenebilir. Yani M serisi harçlarda yayılma C serisine göre daha az olmaktadır.

Tablo 3-1 de taze harçlarda birim ağırlık sonuçları incelendiğinde, kül miktarının artmasıyla birim ağırlığın arttığı görülür. Ancak bu artışın, belirgin olmadığı söylenebilir.

4.2. Sertleşmiş Harç Özelliklerinin Değerlendirilmesi ve İrdelenmesi

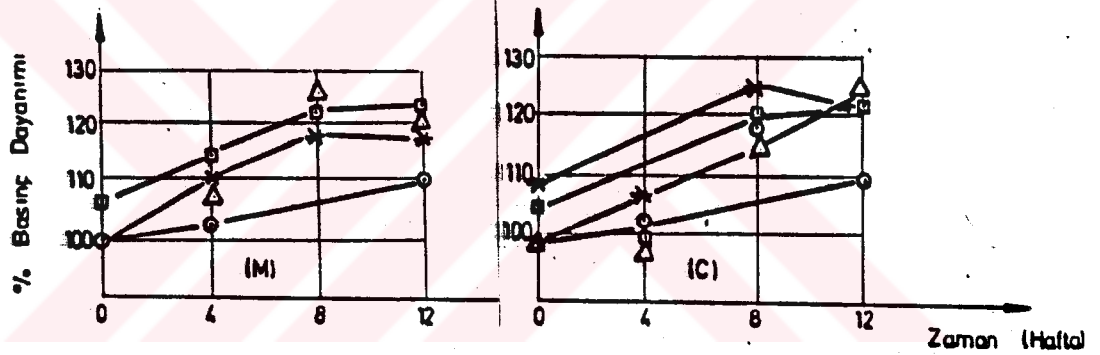
Araştırmada, kabuk yakma sıcaklığı 400°C (M serisi) ve 500°C (C serisi) olan küllerle, kül miktarı %0, 10, 20, 30 olan harçlar üretilmiştir. Üretilen harçlar su içinde belli sürelerde bekletildikten sonra sertleşmiş harç özelliği olarak eğilme, basınç dayanımları saptanmış; sonuçlar Tablo 3-2 de verilmiştir. Bu tablodan yararlanarak

çizilen grafiklerin değerlendirilmesi ve irdelenmesi aşağıdadır.

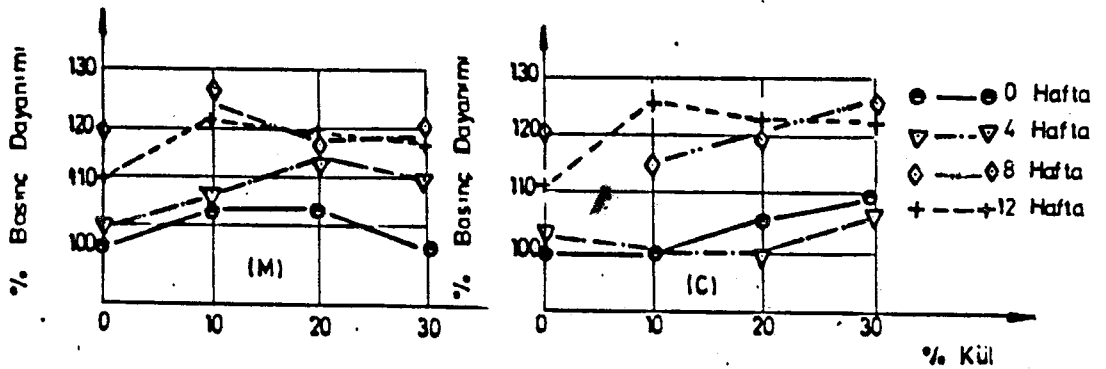
4.2.1. Basıncı Dayanımı Sonuçlarının Değerlendirilmesi ve İrdelenmesi

Bu bölümde su içinde bekleyen harçların basıncı dayanımlarının zamanla ve kül miktarı ile değişimi incelenmiştir. Ayrıca, 12 haftalık basıncı dayanımının kül miktarı ile değişimi, kabuk yakma sıcaklığına göre (M ve C serisi) karşılaştırılmıştır.

M ve C serisi harçların basıncı dayanımının zamanla değişimi Şekil 4-1'dir. Kül miktarı ile değişimi ise Şekil 4-2'dir. Bu şekillerin incelenmesinden çıkarılan sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.



Şekil 4-1 Su İçinde Bekleyen Harçların Basıncı Dayanımının Zamanla Değişimi.



Şekil 4-2 Su İçinde Bekleyen Harçların 0-12 Haftalık Basıncı Dayanımının Kül Miktarı ile Değişimi

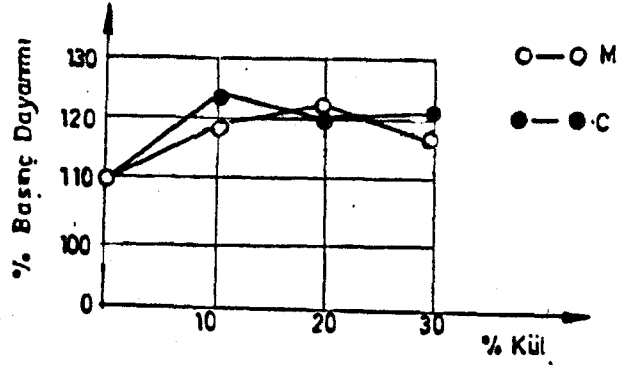
1- Şahit ve küllü harçlarda basınç dayanımı zamanla artmaktadır. Genel olarak tüm kül yüzdelerinde küllü harçlar şahit harçdan daha yüksek basınç dayanımına sahiptir. Bu sonuçlar, külün puzzolanik karakterini ve/veya bağlayıcı özelliğini ortaya çıkarmıştır. Ayrıca, küllerin, puzzolanik aktivitesi ile (2.1.3 no'lu paragraf) bu deney sonuçları birbirini desteklemektedir.

2- Basınç dayanımı bakımından en etkin kül oranının, M serisinde %20, C serisinde ise %30 olduğu görülmektedir. Bu sonuç, Şekil 4-2 de daha belirgin bir şekilde ortaya çıkmıştır. Bu durum, M ve C serisi harçların işlenebilmesindeki farkla (yayılma farkı) açıklanabilir. Bir başka deyişle, Tablo 3-1'de de görüldüğü gibi, M serisi küllerden %30 kül bulunan harçların yayılması, C serisi %30 küllü harçlardaki yayılmadan daha azdır. Çünkü, M külü, C külünden daha incedir. M külünün inceliği ise bu küldeki amorf silisin fazlalığına bağlanabilir. Yani her iki kül aynı sürede aynı değirmende öğütülmesine rağmen inceliklerinin farklı olması, M serisi küldeki amorf silisin fazlalığı ile ilgilidir. Bir başka deyişle küldeki amorf silisin artması öğütmeyi kolaylaştırmıştır. C serisi harçlardaki yayılma, M serisi harçlara göre daha fazla olduğu için, C serisi, M'e göre daha kolay yerleşebilmekte ve basınç dayanımı da bu nedenle M serisinden daha büyük değere ulaşabilmektedir.

3- Küllü harçlarda basınç dayanımları 8'ci haftaya kadar sürekli artmaktadır, 8'ci haftadan sonra Şekil 4-1 de görüldüğü gibi küllü harçlarda basınç dayanımları, sabitleşme eğilimi göstermektedir. Bu sonuç, pirinç kabuğu külünün 8'ci haftaya kadar puzzolanik reaksiyonunu büyük ölçüde tamamlamış olması şeklinde ifade edilebilir.

12'ci kür haftasındaki basınç dayanımının kül miktarına göre değişimi, M ve C serisine göre karşılaştırılmış ve Şekil 4-3 de incelenmiştir.

Her iki serideki küllü harcın basınç dayanımlarının birbirine benzediği görülmüştür. Bu sonuçlara göre M ve C serisinin puzzolanik etkinliğinde kabuk yakma sıcaklığının dayanımda belirgin bir fark oluşturmadığını; yani yakma sıcaklığının (400 ve 500°C) puzzolanik aktiviteyi etkilemediğini söylemek mümkündür. Buna benzer sonuç,



Şekil 4-3 Su içinde Bekletilen Harçların Basınç Dayanımının 12'ci Kür Haftasında Kül Miktarı ile Değişiminin M ve C serisi Yönünden Karşılaştırılması

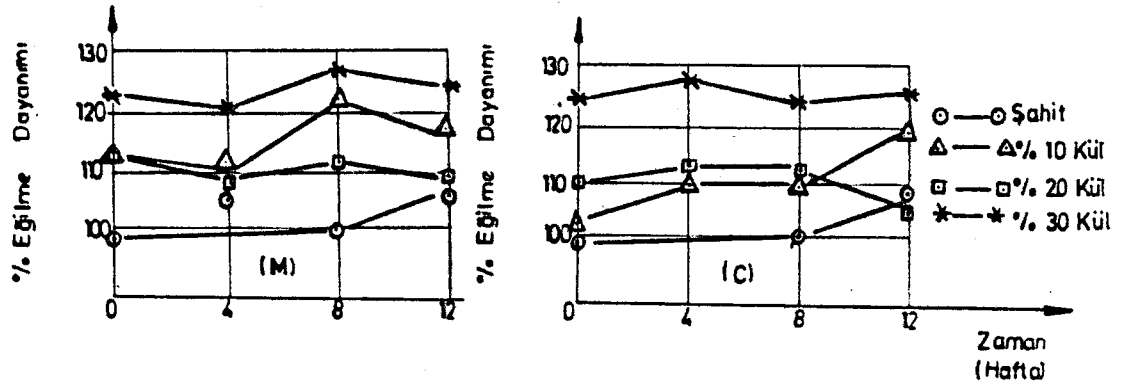
2.1.3. no'lu paragraftaki puzzolanik aktivite deney sonuçlarında da görülmüştür.

Pirinç kabuğu külünün puzzolanik aktivitesi literatürde araştırıldığında uygun yakma sıcaklığının 400°C - 500°C olduğu [17,21,35,38,39], bazılarında ise puzzolaniklik için bu sıcaklığın 700°C ye kadar çıkabileceği işaret edilmektedir [34,36,40].

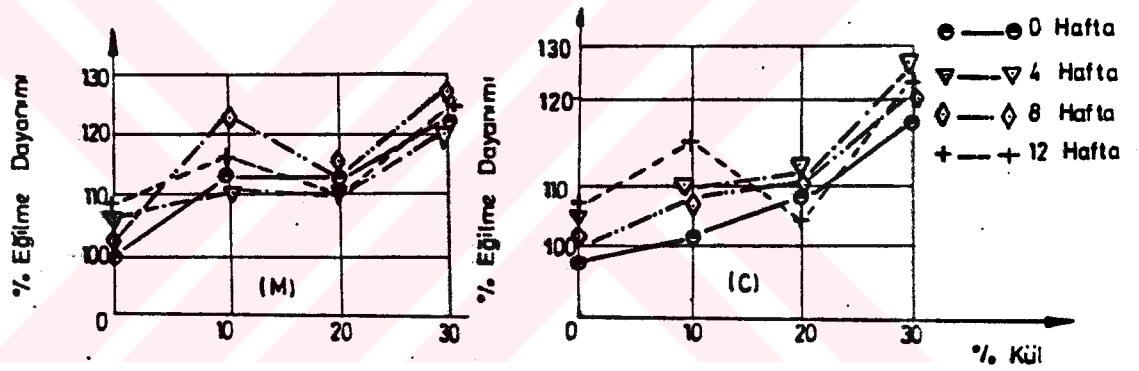
4.2.2. Eğilme Dayanımı Sonuçlarının Değerlendirilmesi ve İrdelenmesi

M ve C serisi küllerle üretilen ve kül miktarı %, 10, 20, 30 olan su içinde bekletilen harçların eğilme dayanımı sonuçları Tablo 3-2'dir. Bu tablodaki sonuçlara göre çizilen grafiklerin değerlendirilmesi aşağıdadır.

M ve C serisi harçların eğilme dayanımının zamanla değişimi Şekil 4-4 de, aynı harçlarda 0-12 haftalık eğilme dayanımının kül miktarı ile değişimi ise Şekil 4-5'dir. Bu şekillerin incelenmesinden çıkarılan sonuçlar aşağıdadır:



Şekil 4-4 Su içinde Bekleyen Harçların Eğilme Dayanımının Zamanla Değişimi.



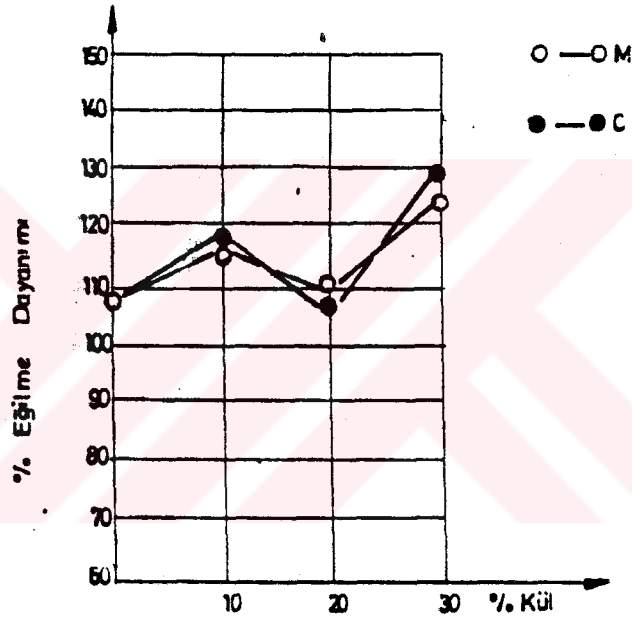
Şekil 4-5 Su içinde Bekleyen Harçların 0-12 Haftalık Eğilme Dayanımının Kül Miktarı ile Değişimi

1- Şahit ve küllü harçlarda eğilme dayanımı zamanla artmaktadır. Genellikle, tüm kül yüzdelerinde küllü harçlar şahit harçtan daha yüksek eğilme dayanımına sahiptir. Bu sonuçlar küllerin puzzolan karakterde oluşunu göstermekte ve basınç dayanımı sonuçlarına benzemektedir.

2- Eğilme dayanımı bakımından araştırmadaki küllü harçlar içinde %30 kül oranının en yüksek değerleri verdiği görülmüştür. Bu sonuç, Şekil 4-4 ve 4-5 de belirgin bir şekildedir.

3- Küllü harçların eğilme dayanımındaki artış, 8'ci kür haftasından sonra 12'ci haftada azalma (veya sabitleşme) eğilimindedir. Eğilme dayanımında görülen bu sonuç su içinde bekleyen küllü harçların basınç dayanımında da görülmüştür. Bu bulgu, küllü harçların 12'ci haftadaki dayanım kazanma hızının düşmesi veya yavaşlaması gibi yorumlanabilir.

M ve C serisi harçlar 12'ci kür haftasındaki eğilme dayanımı açısından karşılaştırıldığında Şekil 4-6 da görüldüğü gibi her iki seri harcın eğilme dayanımlarının birbirine yakın olduğu görülür. Bu



Şekil 4-6 Harçların 12'ci Kür Haftasında Su İçindeki Eğilme Dayanımının Kül Miktarı ile Değişiminin M ve C serisi yönünden Karşılaştırılması.

bulgu, Şekil 4-3 de su içinde bekletilen harçların basınç dayanımında da görülmüştür.

4.3. Dayanıklılık (=Dürabilite) Özelliklerinin Değerlendirilmesi ve İrdelenmesi

Öretilen harçlarda dayanıklılığın belirlenmesi için numuneler sodyum sülfat çözeltisinde bekletilmiştir. Harçlar üzerinde sodyum sülfatın etkisini belirlemek için harçların kararlılığı, boşluk durumu, mikroyapısı incelenmiştir. Tüm bu deneylerin sonunda eğilme ve basınç dayanımının değişimi irdelenmiştir. Dayanıklılık (=dürabilite) kontrol deneyleri sonuçları aşağıda sırası ile değerlendirilmiş ve irdelenmiştir.

4.3.1. Kararlılık

Dayanıklılık deneylerinde kararlılık için, ağırlık ve boy değişimi incelenmiştir. Boy değişimi ile hacim değişimi de bir bakıma ölçülmüş olmaktadır.

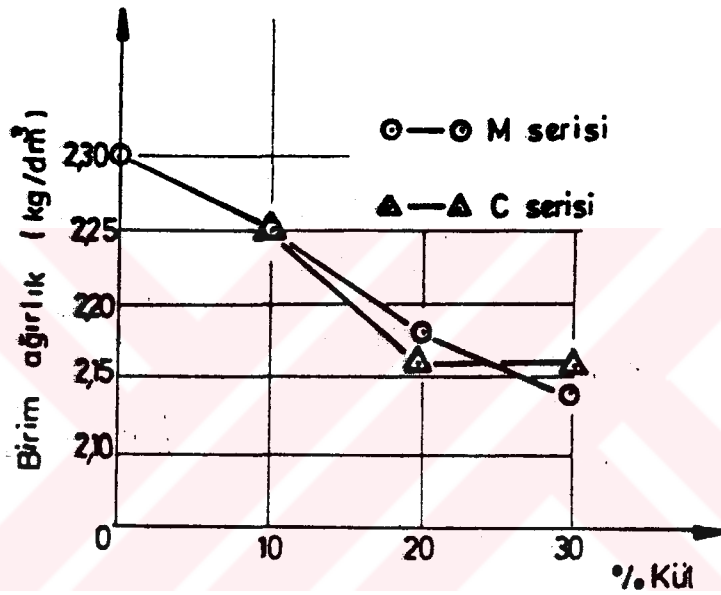
4.3.1.1. Ağırlık Değişiminin Değerlendirilmesi ve İrdelenmesi

Ağırlık değişimleri 28'ci güne kadar su içindeki numunelerde 3, 7, 14, 21, 28'ci günlerde birinci güne kıyaslanarak hesaplanmıştır. Dayanıklılık da kararlılık açısından 28'ci günden sonra harçların yarısı suya, yarısı da sodyum sülfat çözeltisine konmuştur. Harçların 28'ci günden sonraki ağırlıkları da, 4,6,8 ve 12'ci kür haftalarında ölçülmüş 28'ci güne kıyaslanarak elde edilen sonuçlar Tablo 3-5 de verilmiştir. Havada $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ ve 50 ± 5 nemli laboratuarda bekletilen harçların üretimden sonra, 7,14,21,28'ci gün ve 8,10,12,16'ci haftalarda harçların ağırlıkları ölçülmüştür. Havada bekleyen harçların ağırlık değişimi, 7 günlük harcın ağırlığına göre kıyaslanarak hesaplanmış ve sonuçlar Tablo 3-6 da verilmiştir. Bu tablolardaki değerlere göre

Çizilen grafiklerin değerlendirilmesi aşağıdadır.

Su içinde bekleyen harçlarda ağırlık değişimi:

Araştırmada retilen harçlar suya konmadan önce kalıptan çıkarıldıktan sonra ağırlıkları ölçülerek, 1 günlük birim ağırlıkları saptanmıştır ve Tablo 3-4 de verilmiştir. Bulunan birim ağırlıklar ile kül miktarı arasında bu tablodan yararlanarak grafik çizilmiştir.

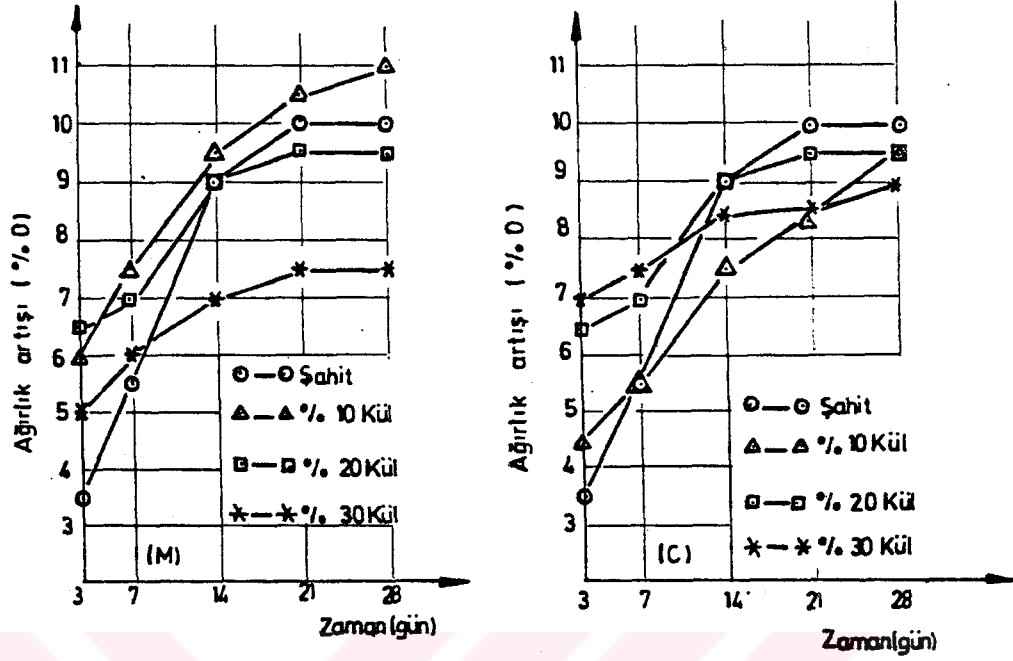


şekil 4-7 Harçların Bir Günlük Birim Ağırlığının Kül Miktarı İle Değişimi.

şekil 4-7 incelendiğinde her iki seride de kül miktarının artmasıyla harçların birim ağırlığının şahide göre azaldığı görülmüştür. Bu sonuç, Tablo 2-5 de görülen külün özgül ağırlığının düşük oluşu ile ilgilidir.

retimden sonraki 28'ci güne kadar harçlardaki ağırlık değişimi 1 günlük harçların ağırlığına kıyaslanarak hesaplanmıştır. M ve C serisinde 28'ci güne kadar saptanan ağırlık artışı şekil 4-8'dedir.

Her iki şeklin incelenmesinden sonra şu sonuçlar çıkarılabilir:



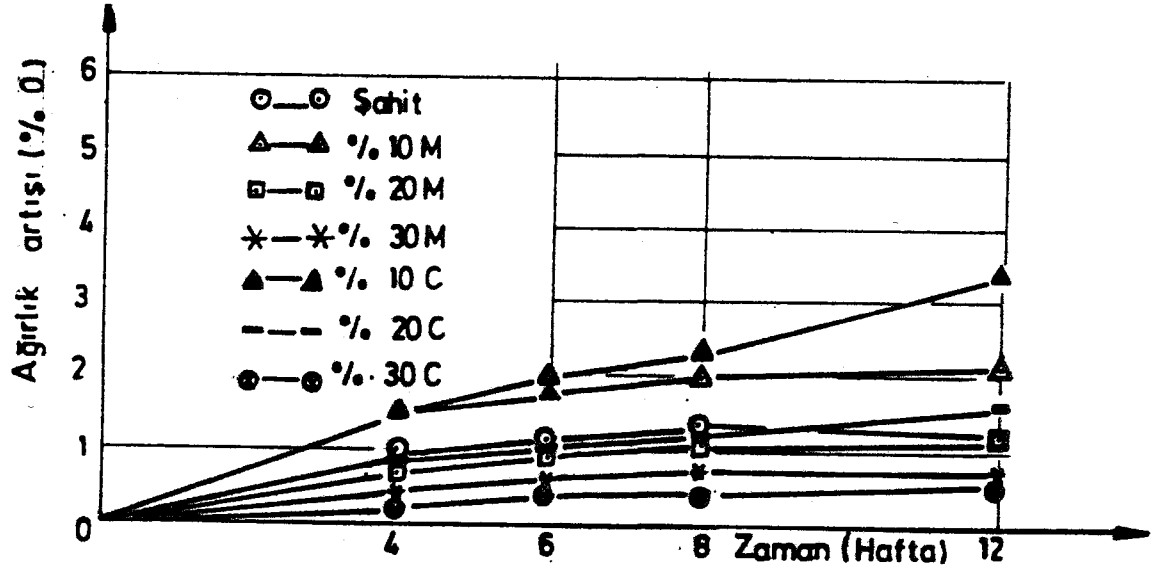
Şekil 4-8 Harçlarda Oretimden Sonraki 28'ci Güne Kadar Ağırlık Artışının Zamanla Değişimi.

1- Tüm harçlarda ağırlık zamanla birlikte artmaktadır. İlk yaşlarda 3 ve 7'ci günde ağırlık artışı, küllü harçlarda şahide göre daha fazla olmaktadır. Bu sonuç, küllü harçların su tutma yeteneğinin fazlalığına bağlanabilir [39].

2- Ağırlık artışı, 14'cü günden sonra küllü harçlarda başlangıça göre daha az, şahit harçda ise daha fazla olmuştur. Bu sonuç, küllü harçların hidrasyon ürünlerinin özgül ağırlığının, şahit harca göre daha düşük oluşu ile açıklanabilir [69,71].

Su içinde bekletilen şahit ve küllü harçların 28'ci güne göre ağırlık değişimi Şekil 4-9 da çizilmiştir.

Bu şekilde şu noktalar dikkati çekmiştir:



Şekil 4-9 Su içinde Bekletilen Harçların 0-12'ci Kür Haftalarında 28'ci Güne (kür başlangıç haftası=0-) Göre Ağırlık Değişimi.

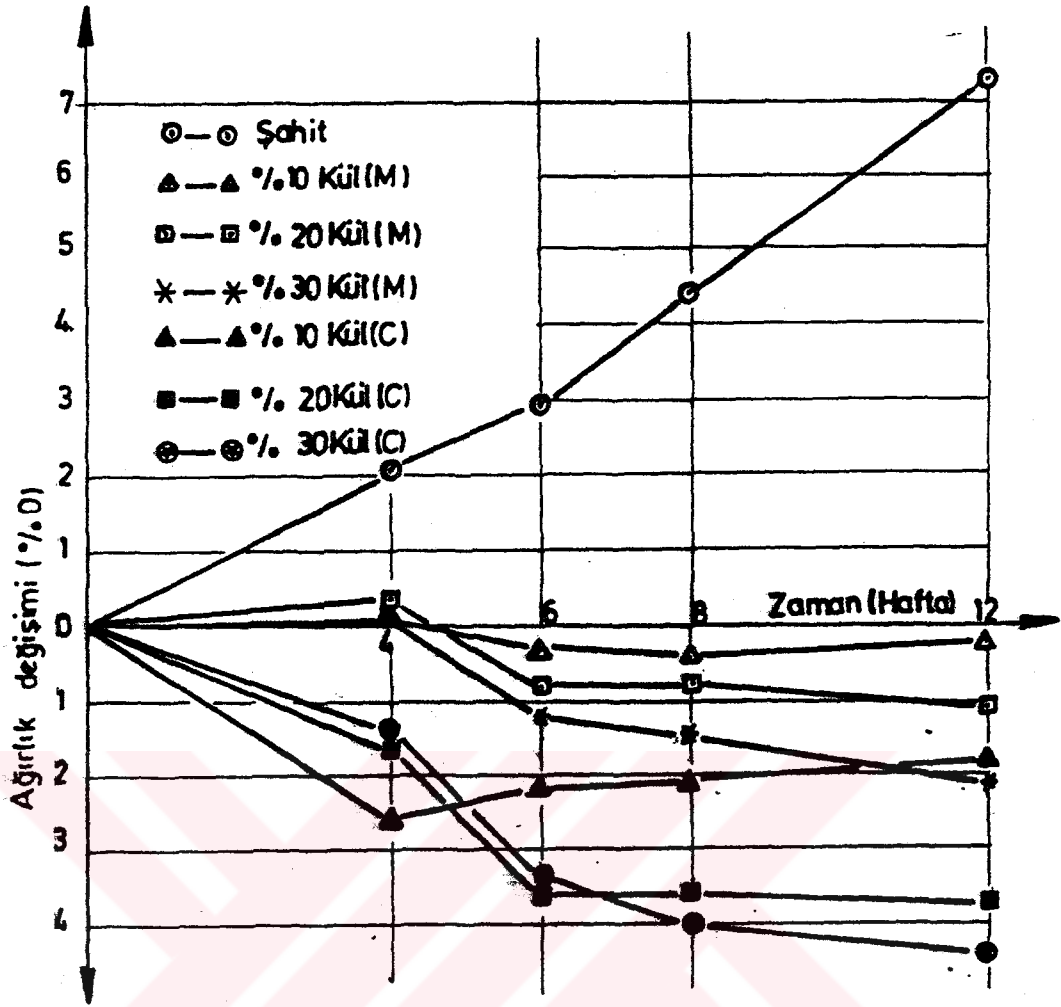
Tüm harçlarda 28'ci günden sonra ağırlık artışı büyük oranlarda olmamakla birlikte artmaktadır. Ancak, kül oranı arttıkça, ağırlık artış yüzdesi zamanla birlikte azalmaktadır.

Sülfat çözeltisinde bekletilen harçların ağırlık değişimin değerlendirilmesi ve irdelenmesi:

Harçların sülfat çözeltisindeki ağırlık değişimi Şekil 4-10 dadır. Bu şekilde 28 günlük harç ağırlığına göre hesaplanan zaman içindeki ağırlık değişimi görülmektedir.

Bu şekilden çıkarılan sonuçlar şöyledir.

1- Şahit harçta ağırlıkta artış, küllü harçlarda ise azalma görülmektedir. Ancak şahit harçdaki artış sürekli ve büyük miktarlarda olmaktadır. Yani, şahit harçda 4'cü kür haftasındaki artış %02,1 iken, 12'ci kür haftasında %07,3'e ulaşmıştır. Şahit harçdaki ağırlık artışı sülfatlı ortamda ettringit oluşumuna bağlanabilir. Çünkü, şahit harçta ağırlık artışı yanısıra boy da artmıştır. Ayrıca, X ışını Diffraktometresi sonuçlarında şahit harçda ettringit piki görülmüştür. Böylece şahit harcın sülfat çözeltisinden etkilendiği, ağırlık ve boy artışı, X ışını difraktometresi sonucu (=ettringit) ile görülmektedir.



Şekil 4-10 Sülfat Çözeltisinde Bekletilen Harçların 0-12'ci Kür Haftalarında 28'ci Güne Göre Ağırlık Değişimi

2- Sülfat çözeltisinde saklanan küllü harçlarda ağırlık azalması olmuştur. Bu ağırlık azalması, her iki seride de kül miktarının artmasıyla artmaktadır. Ayrıca C serisindeki ağırlık azalması M serisinden daha fazla olmuştur. Örneğin 12'ci kür haftasında %30 küllü M serisinde ağırlık azalması %0 2,1 iken, C serisinde bu değer %0 4,4 ile M serisinin iki katı olmaktadır. Bu ağırlık kaybı, ilk bakışta madde kaybı veya harçdaki hidrate bileşiklerin çözünerek çözeltiye geçmesi ve ağırlığının azalmasından ileri geldiği düşünülebilir. Oysa bu numunelerdeki mekanik özellikler (eğilme-basınç dayanımları) şahide göre fazla olmaktadır. Bunlara ilave olarak yüzeyde sülfat etkilenmesine benzer, döküntü, şişme, kabarma v.s. görülmemiştir. Halbuki şahit

harçda fotoğraflarda da (Ek 3) görüldüğü gibi sülfat etkisi gözle görülecek şekildedir. Ayrıca, küllü harçların X-ışını Difraktometresi incelemesinde %20, 30'luk harçlarda ettringit oluşmamıştır. Yani, küllü harçların sülfat çözeltisindeki ağırlık azalması, bir aşınma ve korrozyon sonucundan çok, çimentodaki küllerin sodyum sülfatlı ortamda oluşturduğu ürünlerle ilgili olabilir.

Dayanıklılık açısından su ve sülfat çözeltisinin harçlar üzerindeki etkisi ayrı ayrı incelendikten sonra bunların birbiri ile karşılaştırılması yapılmıştır. Bu amaçla çizilen grafiklerde Şekil 4-11 den şu sonuçlar çıkarılmıştır.

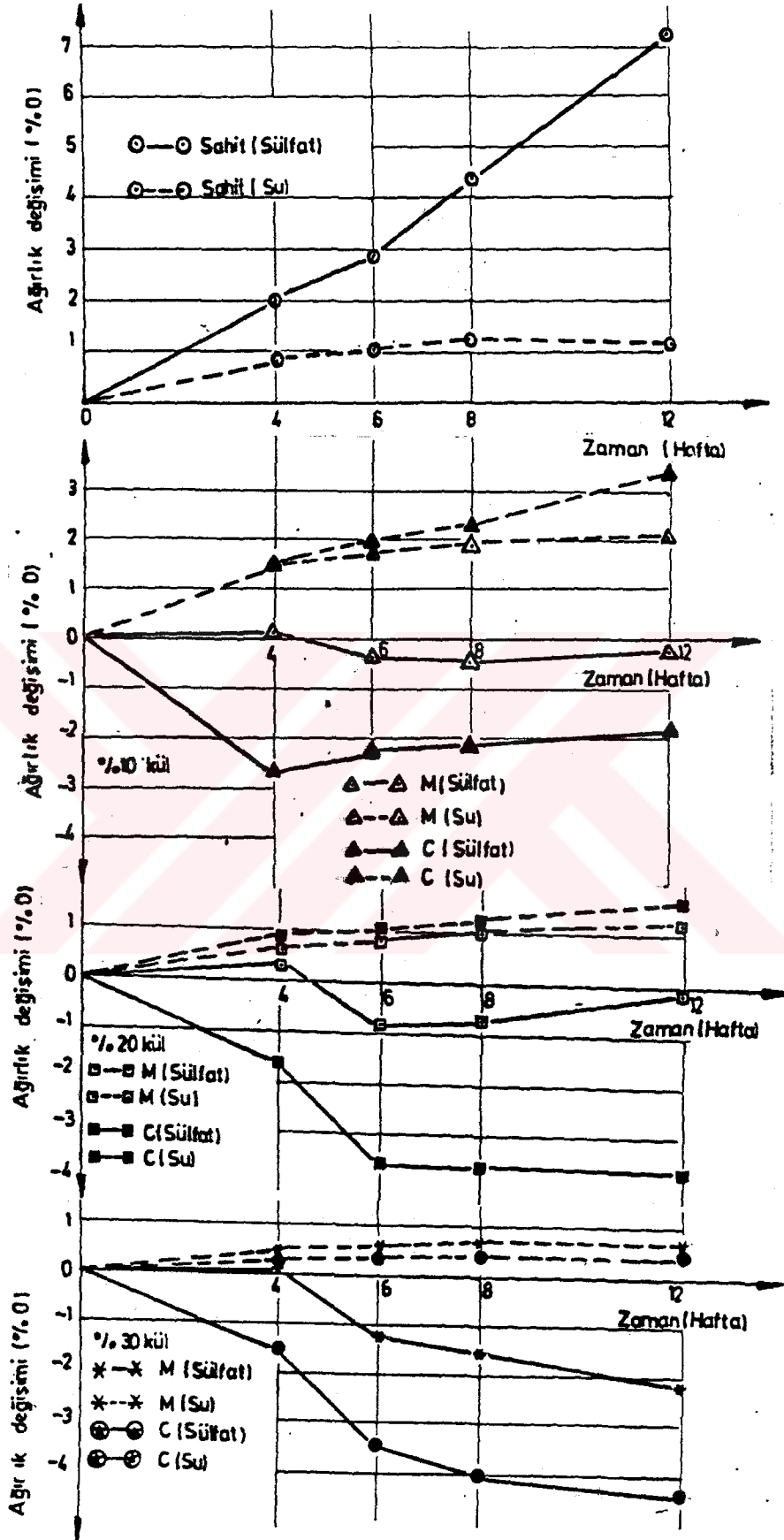
1- Şahit harcın ağırlık değişimi Şekil 4-11 de görüldüğü gibi sülfat çözeltisinde suya göre çok daha fazla olmuştur. Şahit harcın su içindeki ağırlık değişimi 12'ci kür haftasında %01,2 iken, sülfat çözeltisinde %07,3 yani 6 kat daha fazla olmaktadır.

2- Şekil 4-11 de şahit, %10, 20, 30 M ve C serisi küllü harçların su ve sülfat çözeltisindeki ağırlık değişimi çizilmiştir. Bu değişimin şahit harca göre, küllü harçlarda ters olduğu görülür. Bir başka deyişle şahit harçda su ve sülfat çözeltisinde ağırlık değişimi artış şeklinde görülürken, küllü harçlarda ağırlık değişimi, su içinde ağırlık artışı, sülfat çözeltisinde ise ağırlık azalması şeklinde görülmüştür. Ayrıca su içinde bekletilen her iki seri küllü harçların ağırlık artışı birbirine çok yakın iken, sülfat çözeltisinde bekletilenlerin birbirinden farklı bir şekilde ağırlık azalması gösterdiği bulunmuştur.

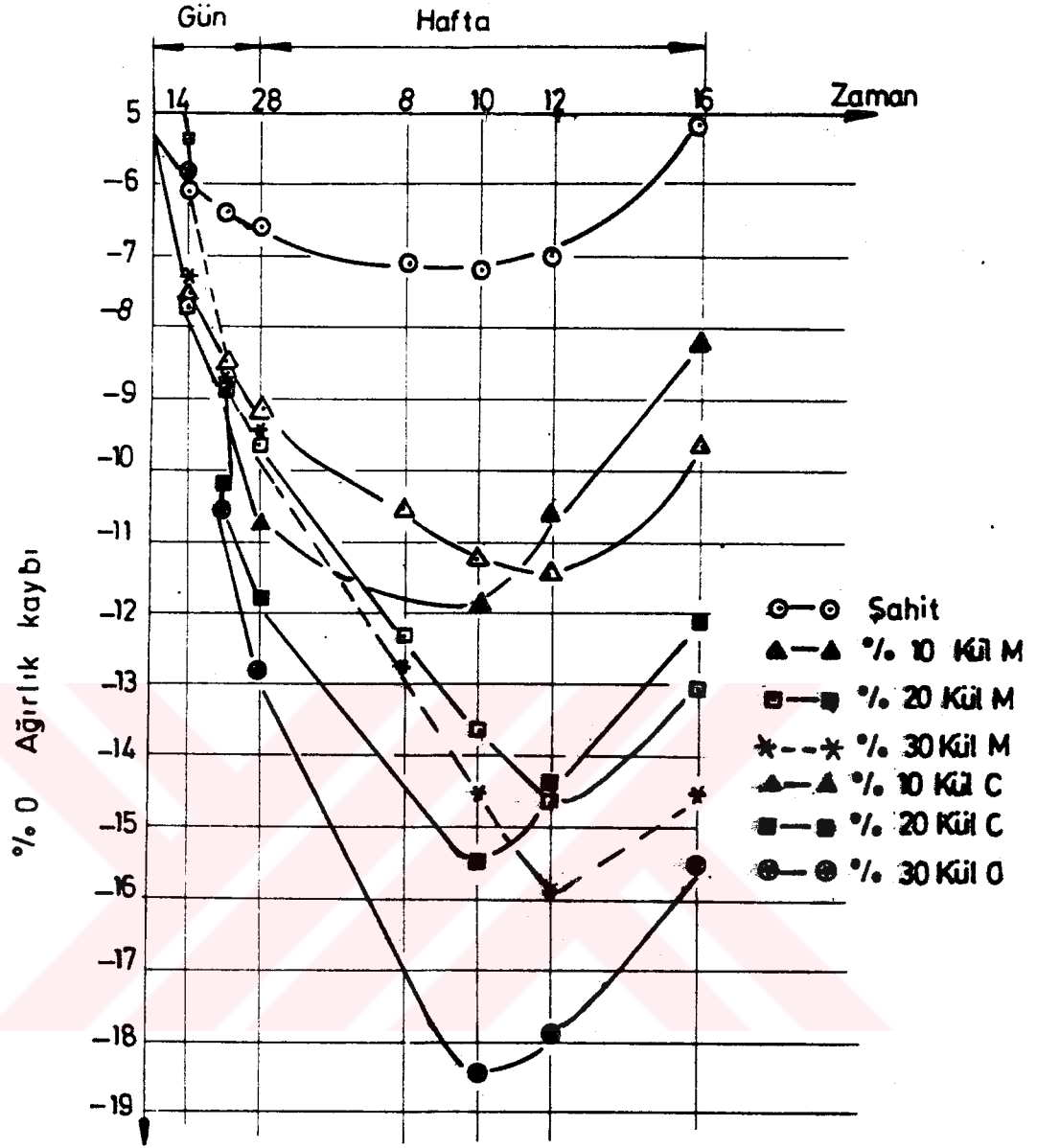
Havada bekletilen Harçlarda Ağırlık Değişimi:

Öretilen harçların 7 günlük ağırlığına göre bulunan ağırlık azalması, Tablo 3-6 da ve Şekil 4-12 dedir. Bu şekil incelendiğinde çıkarılan sonuçlar şöyledir:

1- Tüm harçlarda zamanla ağırlık kaybı görülmüştür. Bu sonuç, harçların boşluklarında bulunan suyun uzaklaşması sonucu ortaya çıkan ağırlık kaybıdır.



Şekil 4-11 Su ve Sülfat Çözeltisinde Bekletilen Harçların 0-12'ci Kür Haftalarında 28'ci Güne Göre Ağırlık Değişimi.



Şekil 4-12 Havada Bekletilen Harçların Ağırlık Kaybı

2- Şahit harçdaki ağırlık kaybı, küllü harçlara göre daha azdır. Kül miktarının kabuk yakma sıcaklığının artması ile ağırlık azalması da artmaktadır.

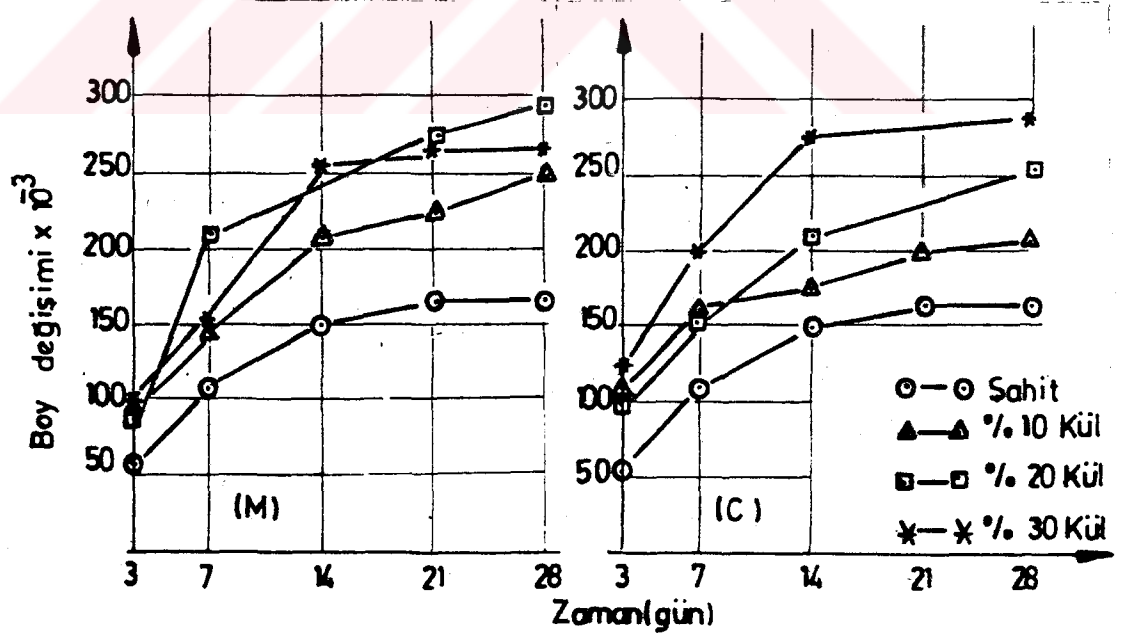
3- Tüm harçlarda 12'ci haftaya kadar ağırlık kaybı bundan sonra ise şekildeki eğrilerin tümünde görüldüğü gibi ağırlık artışı görülmüştür. Burada ilk haftalarda görülen ağırlık kaybı, buharlaşma hızının, karbonatlaşma hızından daha fazla olmasına bağlanabilir, daha sonraki ağırlık artışı ise karbonatlaşma sonucu oluşan ağırlık artışına bağlanabilir.

4.3.1.2. Boy Değişimlerinin Değerlendirilmesi ve İrdelenmesi

Harçlarda boy değişiminin ölçülmesi ile hacim değişimleri saptanmış olmaktadır. Harçların boyu, ağırlık ile aynı günlerde ölçülmüştür. Boy değişimleri 28'ci güne kadar, su içindeki numunelerde 3, 7, 14, 21, 28'ci günlerde birinci güne kıyaslanarak hesaplanmıştır. Dayanıklılık açısından 28'ci günden sonra harçların yarısı suya, yarısı da sodyum sülfat çözeltisine konmuştur. Harçların 28'ci gün ve ondan sonraki boyları 4, 6, 8, 12'ci kür haftalarında ölçülmüş, 28'ci güne kıyaslanarak, sonuçlar Tablo 3-7 de verilmiştir.

Su içinde bekletilen harçlarda boy değişimi:

Öretimden sonraki 28'ci güne kadar M ve C serisinde boy değişimi Şekil 4-13 de çizilmiştir.



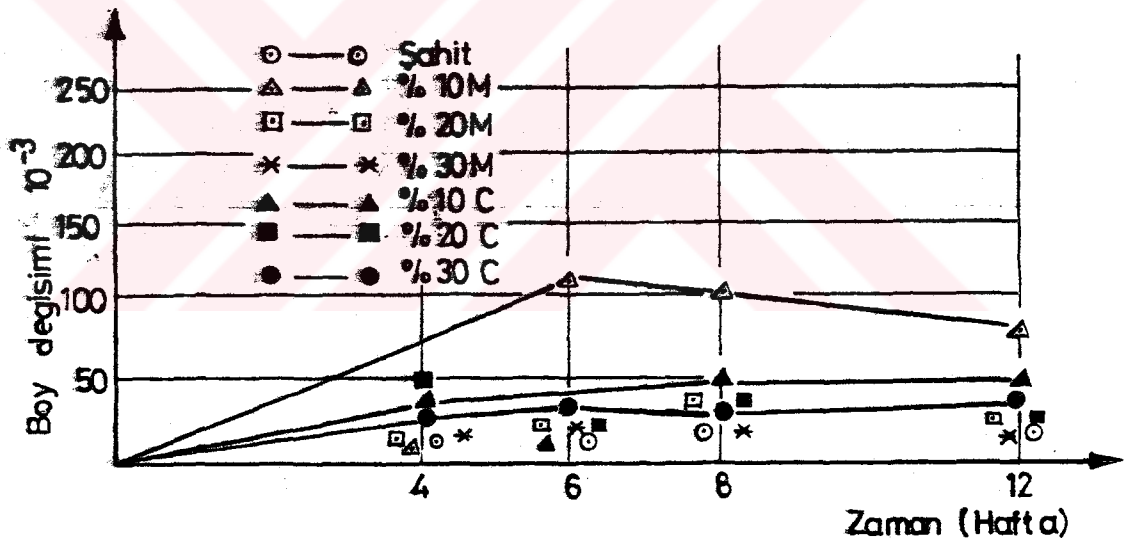
Şekil 4-13 Harçlarda, Öretimden Sonraki 28'ci Güne Kadar Boy Artışının Zamanla Değişimi.

Bu şekilden çıkarılan sonuçlar şöyledir:

1- Şahit ve küllü harçlarda boy değişimi zamanla birlikte artmaktadır. Bu artış ilk 14 günde daha da fazladır.

2- Şahit harçda boy artışı küllü harçlara göre daha az olmuştur. Küllü harçlardan her iki seride de, %10 ve %20'lik olanlarda boy artışının şahit harca göre daha fazla olduğu görülmüştür. Ancak, %30 küllü harçlarda her iki seride de 14 günden sonra sabitleşme eğilimi gözlenmiştir.

Öretilen harçların su içindeki 28'ci günden sonra yarısı saf suya, diğer yarısı da sodyum sülfat çözeltisine konarak boy ölçümüne devam edilmiştir. Harçların 28'ci günden sonraki su içindeki boy değişimi Şekil 4-14 dedir.



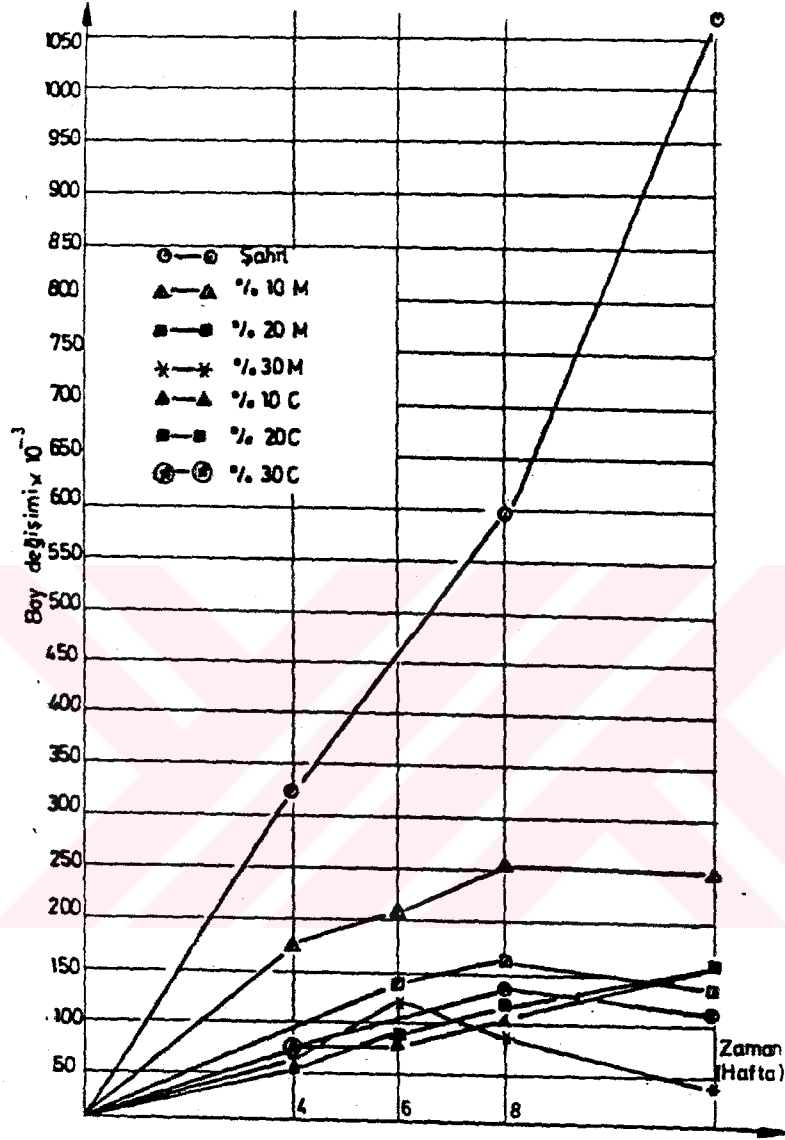
Şekil 4-14 Su İçinde Bekletilen Harçların 0-12'ci Kür Haftalarında 28'ci Güne Göre Boy Değişimi.

Bu şekil incelendiğinde su sonuç görülür:

Şahit ve küllü harçlarda boy artışı fazla olmamakla birlikte, boy değişimi tüm harçlarda birbirine yakın ve küçük değerler almıştır. Boy artışı 4'cü haftadan sonra genelde tüm harçlarda sabitleşme eğilimindedir.

Sülfat çözeltisinde bekletilen harçlarda boy değişimi:

28'ci günden sonra sülfat çözeltisinde kürlenen harçların boy değişimi Şekil 4-15'de çizilmiştir.



Şekil 4-15 Sülfat Çözeltisinde Bekletilen Harçların 0-12'ci Kür Haftalarında 28'ci Güne Göre Boy Değişimi.

Bu şekil incelendiğinde şu sonuçlar çıkarılmıştır.

1- Şahit ve küllü harçlarda genelde boy artışı görülmüştür. Ancak şahit harçdaki boy artışı sürekli ve büyük miktarda olmuştur. Şahit harçda oluşan bu boy artışını sülfat etkileşmesi sonunda oluşan Candlot tuzunun varlığına bağlamak mümkündür.

Literatürde, yapay puzzolanlı harçların sülfatlı ortamda boy değişimi bakımından fazla etkilenmediği araştırmalarda görülmüştür [75,99].

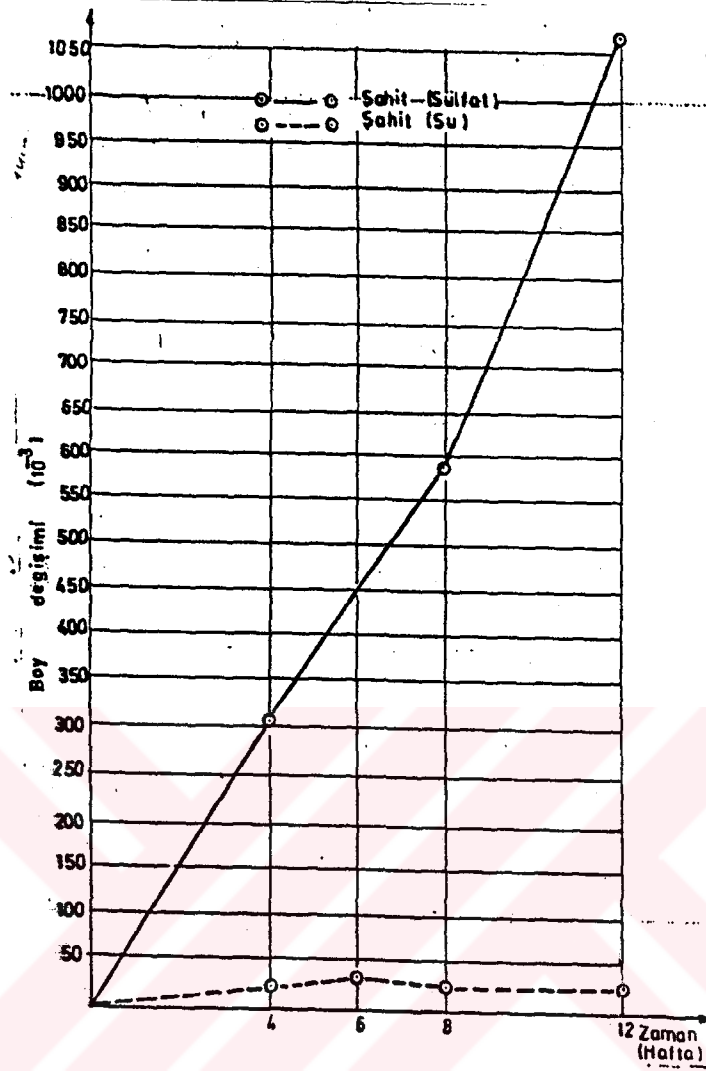
Küllü harçlarda boy artışının, şahide göre daha az olması sonucu, küllü harçların daha az hasar gördüğünü veya hasar görmediğini ortaya çıkarmaktadır. Ayrıca küllü harçların sülfattan daha az etkilenmediği Ek-3'teki fotoğraflardan da görülmektedir.

2- Her iki seri küllü harçlar aynı grafikte karşılaştırıldığında genelde M serisindeki boy artışının C'ye göre daha fazla olduğu görülmüştür. Sülfat çözeltisinde bekletilen küllü harçlarda boy değişimi kül miktarının artması ile azalmaktadır. Bu sonuç her iki kül tipinde %30 kül katkılı olanlarda görülmüştür. Bu bulgu, ağırlık değişiminde de kül miktarının artmasıyla ağırlık azalması şeklinde ortaya çıkmıştır.

Dayanıklılık açısından su ve sülfat çözeltisinin harçlar üzerindeki etkisi ayrı ayrı incelendikten sonra bunların birbiri ile kıyaslaması yapılmıştır. Bu amaçla çizilen grafiklerden Şekil 4-16 ve 4-17 den şu sonuçlar çıkarılmıştır.

1- Şahit harcın Şekil 4-16 da su ve sülfat çözeltisindeki boy değişimleri birbirinden çok farklı olmuştur. Buna göre şahit harc sodyum sülfatdan hayli zarar görmüştür. Bir başka deyişle şahit harcın sülfat çözeltisindeki boy değişim oranı $1072 \times 10^{-3} \mu/\text{mm}$ iken su içinde bu değer $30 \times 10^{-3} \mu/\text{mm}$ dir. Yani, sülfatın şahit harçta boy değişimine etkisi, suya göre ~300 kat daha fazladır. Bu sonuç, Ek-3'deki harçların fotoğrafında da görülmektedir. Bu fotoğraflardaki numuneler, 3 ay sodyum sülfat etkisinde kaldıktan sonra, 1 yıl su içinde tutulmuştur. Bu harçlardan her iki serideki %30 ve %20 küllü numunelerin biçiminde değişiklik görülmediği halde %10 ve şahit harçlarda köşelerden parçalar koptuğu ve biçimin bozulduğu görülmüştür. Biçim bozukluğu, şahit harçta, %10 küllü harçlara göre daha fazladır.

2- Her iki seride, %10, 20, 30 kül katkılı harçların M ve C serisindeki su ve sülfat çözeltisindeki boy değişimi Şekil 4-17 de görülmektedir. Buna göre, suda bekletilen harçların boy değişimi, sülfat

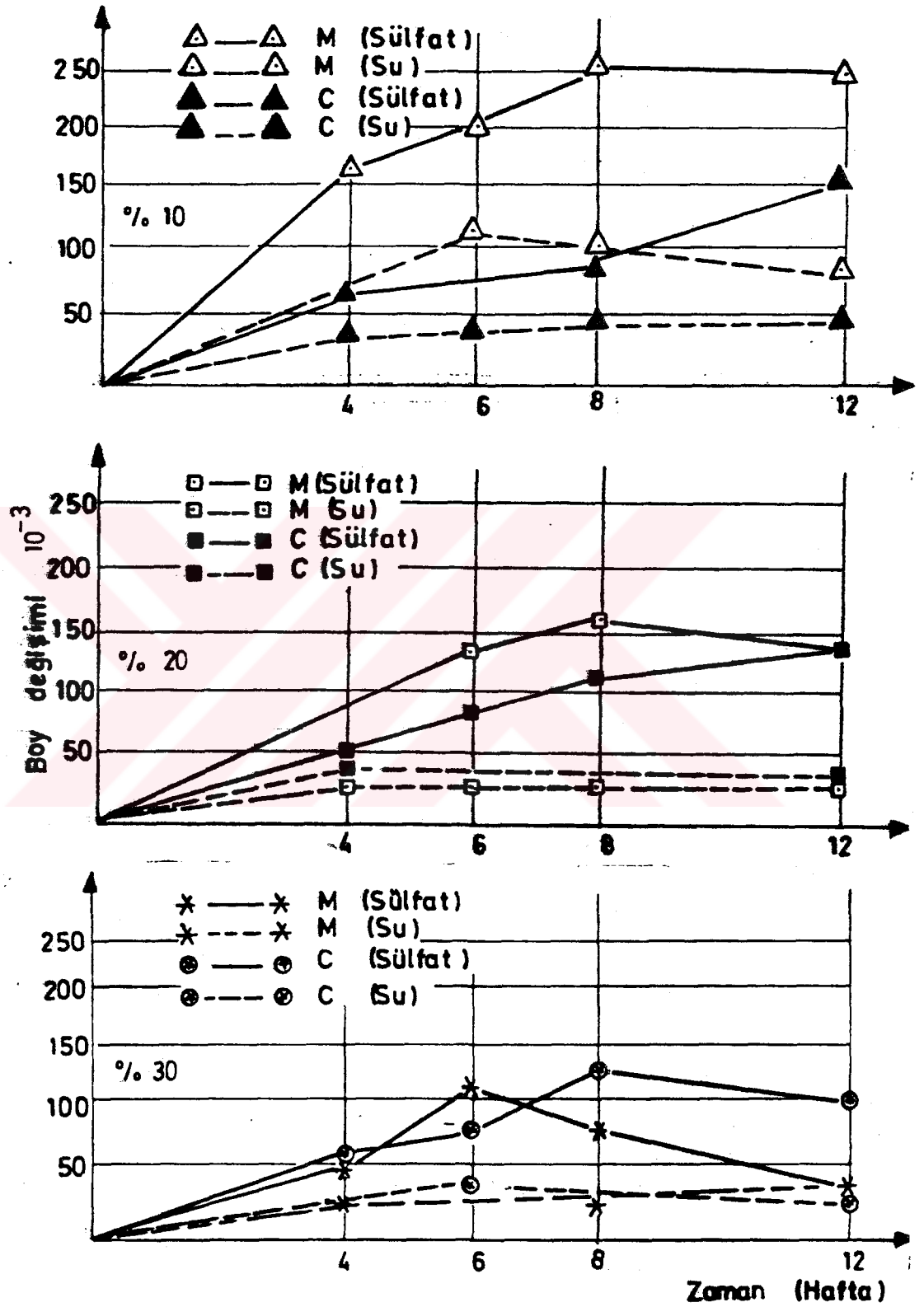


Şekil 4-16 Su ve Sülfat Çözeltisinde Bekletilen Şahit Harcın 0-12'ci Kür Haftalarında 28'ci Güne Göre Boy Artışı

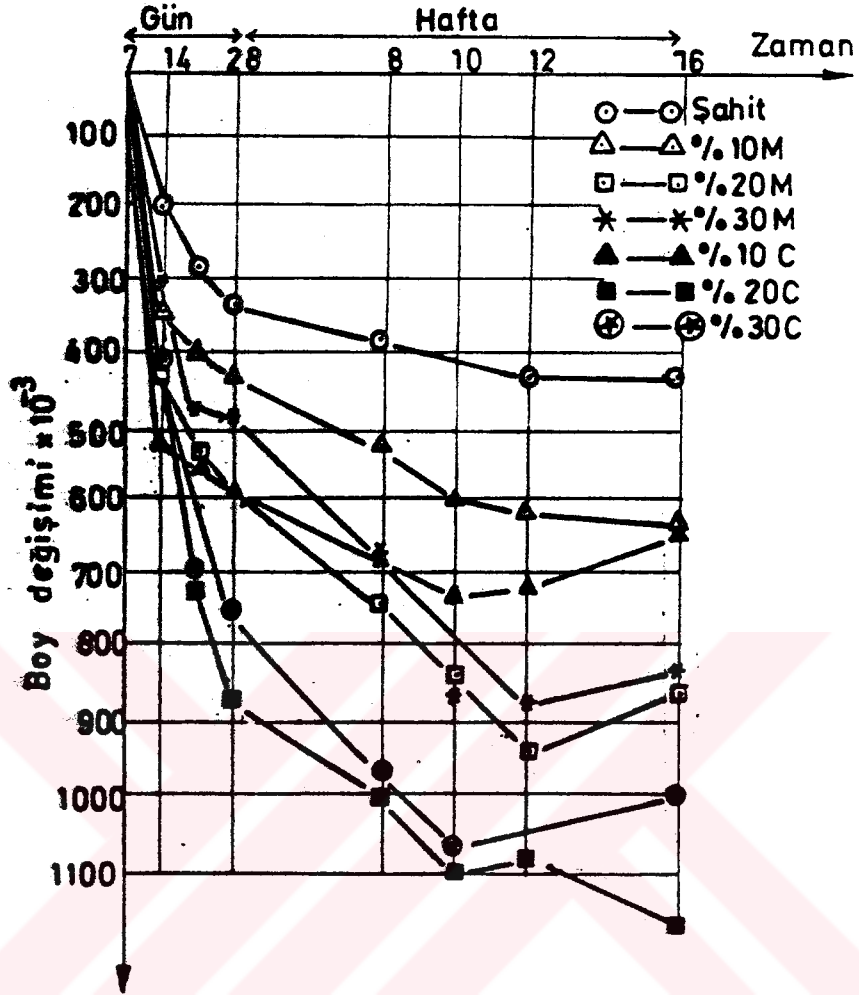
çözeltisinde bekletilenlere göre daha azdır. Ancak bu fark, şahit harcdaki (Şekil 4-16) kadar fazla değildir. Ayrıca sülfat çözeltisindeki %30 küllü harçlarda, boy değişimi ile su içindeki boy değişimi diğerlerine (%10 ve 20 küllü harçlara) göre daha azdır.

Havada bekletilen harçlarda boy değişimi:

Öretilen harçların 7 günlük boyuna göre bulunan boy kısalması (=rötre) Tablo 3-6 da ve Şekil 4-18'dedir.



Şekil 4-17 Su ve Sülfat Çözeltisinde Bekletilen Harçların 0-12'ci Kür Haftalarında 28'ci Güne Göre Boy Artışı.



Şekil 4-18 Havada Bekletilen Harçların Rötresi.

Bu şeklin incelenmesinden şu sonuçlar çıkarılmıştır:

1- Tüm harçlarda rötreye görülmüştür. Şahit harçdaki rötreye, küllü harçlara göre daha azdır.

2- Küllü harçlarda rötreye, kül miktarının ve kabuk yakma sıcaklığının artması ile artmıştır. C serisindeki rötrenin M serisine göre daha fazla oluşu M serisi küllerin su tutma kabiliyetinin fazlalığına bağlanabilir [39].

3- Tüm harçlarda genelde 12'ci haftaya kadar rötreye devam etmiş, 12'ci haftadan sonra, rötreye azalma eğilimi görülmüştür. Bu bulgu, havada bekletilen harçların ağırlık azalmasında da (Şekil 4-12 de) 12'ci haftadan sonra eğrilerin genel gidişinde artış şeklinde ortaya çıkmıştır.

4.3.2. Boşluk Durumunun Değerlendirilmesi ve İrdelenmesi

Harçlarda boşluk durumu, kılcallık, su emme, birim ağırlık özellikleri ile incelenmiştir. Bu özelliklerin zamanla değişimi, su ve sülfat çözeltisinde saptanmıştır. Ayrıca mikroyapıdaki değişiklikler, X-ışını Difraktometresi ve Elektron Mikroskobu ile araştırılmıştır.

4.3.2.1. Kılcallık, Su Emme, Birim Ağırlık Sonuçlarının Değerlendirilmesi ve İrdelenmesi

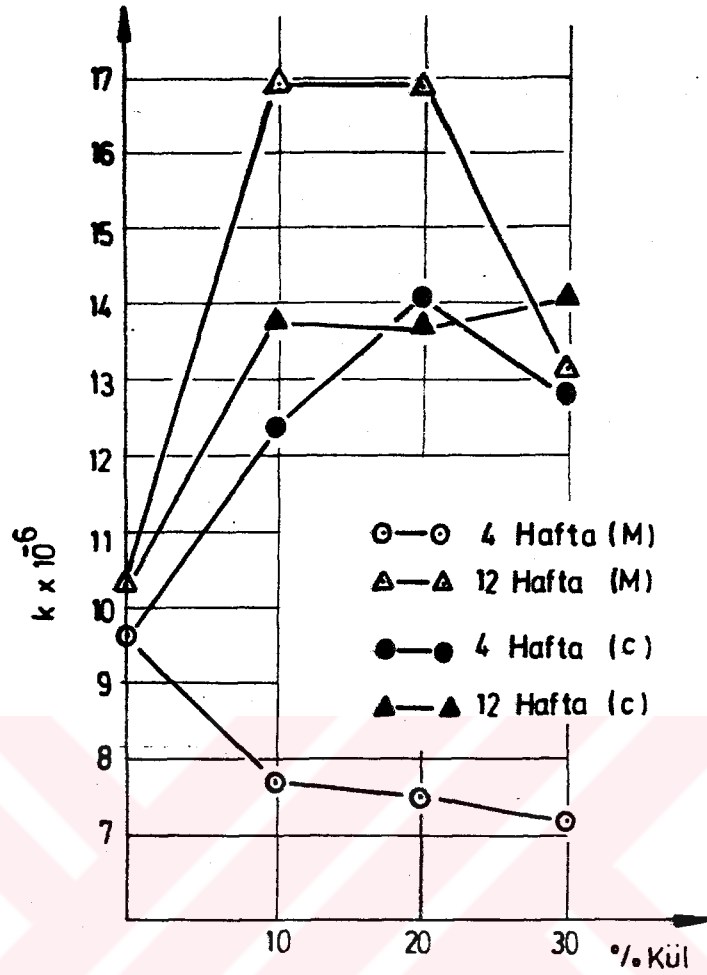
Harçlar üretimden sonra 4 hafta su içinde saklandıktan sonra, sodyum sülfat çözeltisine ve saf suya konmuştur. Harçlar da, kürden sonraki 4 ve 12'ci haftalarda kılcallık, su emme, birim ağırlık deneyleri yapılmıştır. Deney sonuçlarının verildiği Tablo 3-8 den yararlanarak çizilen grafiklerin değerlendirilmesi aşağıda yapılmıştır.

Kılcallık deneyi sonuçlarının değerlendirilmesi ve irdelenmesi:

Su içinde bekletilen harçların 4 ve 12'ci kür haftalarında kılcallık katsayısının kül miktarı ile değişimi Şekil 4-19 da çizilmiştir.

Su içinde bekletilen küllü harçlarda, M serisinin 4 haftalığı hariç, genel olarak kül miktarının artmasıyla kılcallık katsayısı, şahit harca göre artmaktadır.

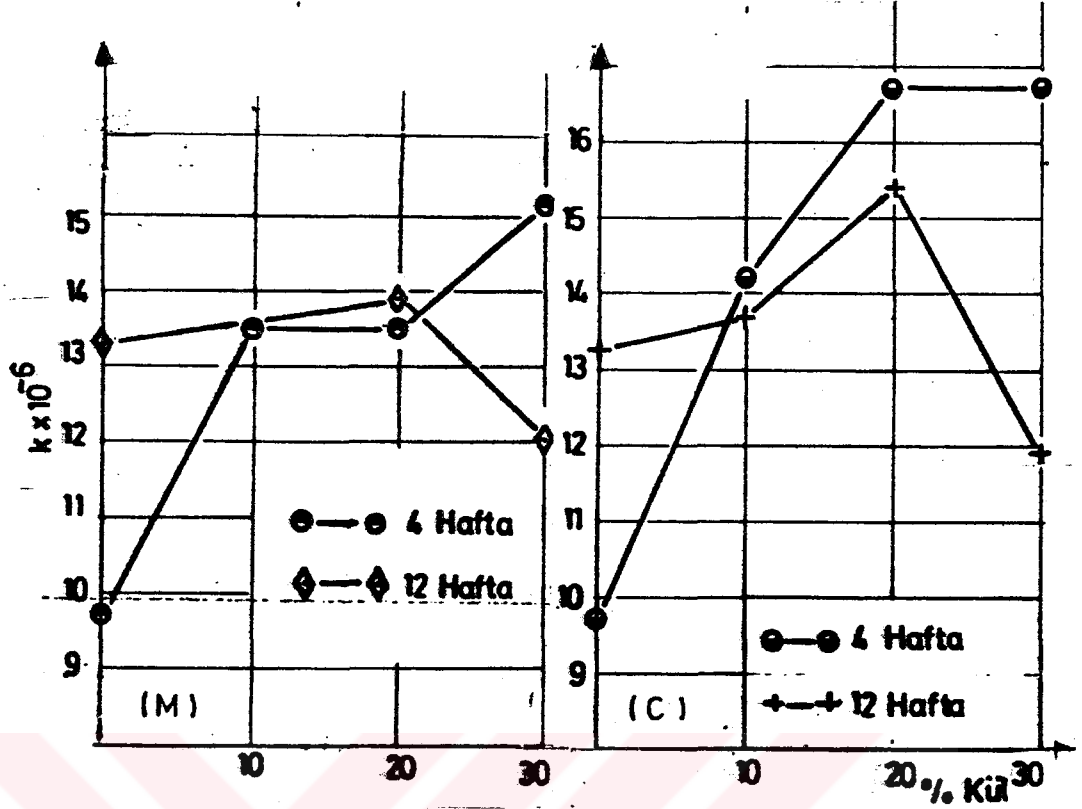
Sülfat çözeltisinde kürlenene harçlardan, M ve C serisinin kılcallık katsayısının kül miktarı ile değişimi Şekil 4-20 dedir.



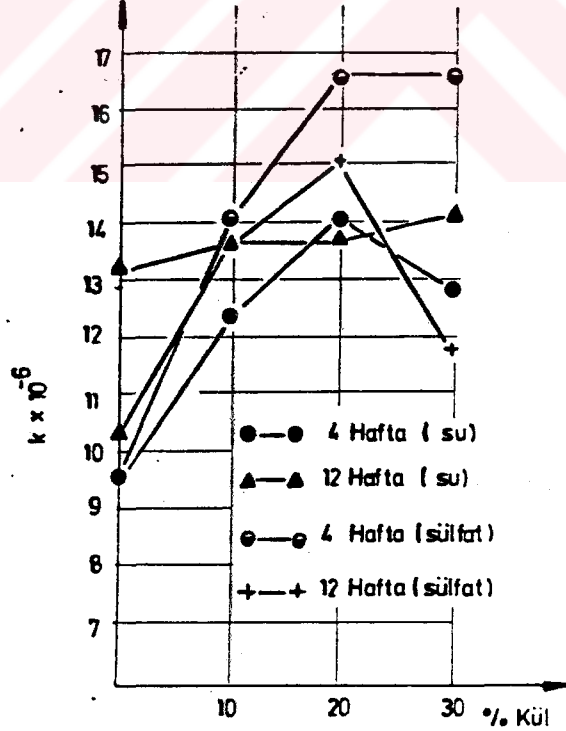
  kil 4-19 Su içinde Bekletilen Harçlarda Kılcallık Katsayısının K  l Miktarı ve K  r Süresi ile Değişimi

Bu şekle göre, sülfat çözeltisinde bekletilen harçlarda 4'c  k r haftasında, k  l miktarının artmasıyla kılcallık katsayısı artmıştır. Ancak, 12'ci k r haftasında her iki serideki özellikle %30 k  ll  harçların kılcallık katsayısının şahit harca ve zamana göre azaldığı görülür. Bu bulgu, %30 k  ll  harçlarda zamanla kılcal boşlukların azalmasına bağlanabilir.

C serisine ait su ve sülfat çözeltisinde bekletilen harçların kılcallık katsayısının k  l miktarı ile değişimi   kil 4-21 de çizilmiştir.



Şekil 4-20 Sülfat Çözeltisinde Bekletilen Harçların Kılcallık Katsayısının Kül Miktarı ve Kür Süresi ile Değişimi.

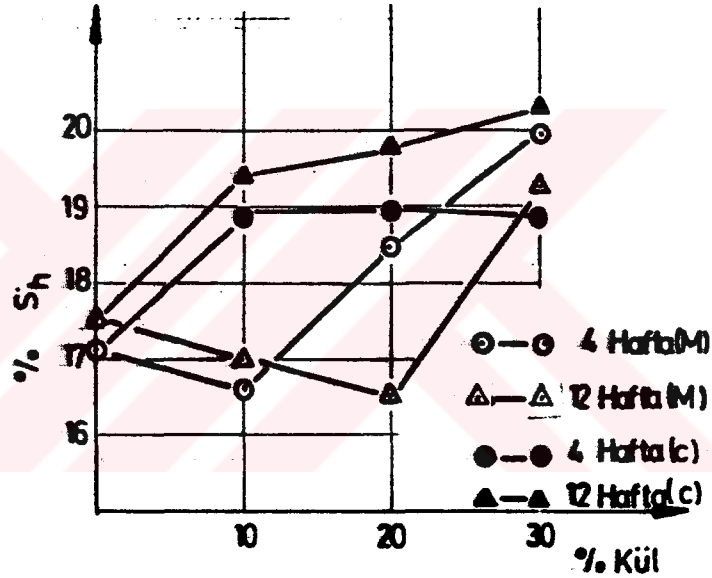


Şekil 4-21 Su ve Sülfat Çözeltisinde Bekletilen C Serisi Harçlarda Kılcallık Katsayısının Kül Miktarı ve Kür Süresi ile Değişimi

Bu şekilde (Şekil 4-21) görüldüğü gibi, sülfat çözeltisinde bekletilen küllü harçların kılcallık katsayısı, su içinde bekletilenlere göre artmaktadır. Ancak, sülfat çözeltisinde kürlenene %30 küllü harçların kılcallık katsayısı azalma eğilimi gösterirken, aynı çözeltideki şahit harcın kılcallık katsayısı zamanla artış eğilimi göstermiştir.

Su emme deneyi sonuçlarının değerlendirilmesi ve irdelenmesi:

Harçların su içinde ve sülfat çözeltisinde hacımca su emme değerlerinin kül miktarı ile değişimi incelenmiş ve Şekil 4-22 de çizilmiştir. Ayrıca ayrı bir grafikte su ve sülfat çözeltisine göre hacımca su emme değerinin kül miktarı ile değişimi de Şekil 4-23 de çizilmiştir.



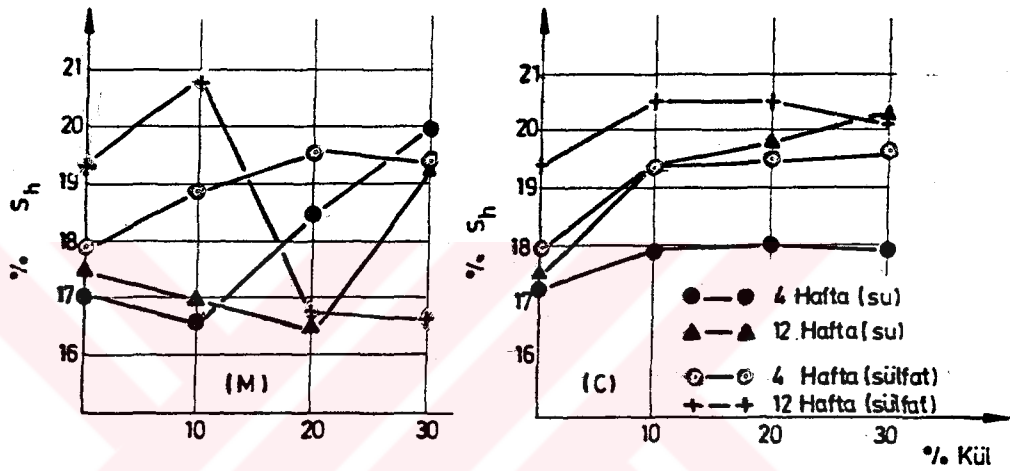
Şekil 4-22 Harçların Hacımca Su Emme Değerinin 4 ve 12'ci Kür Haftalarında Kül Miktarı ile Değişimi

Bu şekillerin incelenmesinden şu sonuçlar çıkarılmıştır:

1- Su içinde bekletilen harçlarda her iki seride de hacımca su emme değeri kül miktarının artmasıyla artmaktadır. Ayrıca şekilde, C serisi harçların hacımca su emme değerinin, M serisine göre daha yüksek olduğu görülür. Bu sonuç, C serisinin M'ye göre daha kalın oluşu nedeniyle C serisi harçlarda kılcal boşluklardan daha büyük boşluk oluşuna bağlanabilir.

2- Sülfat çözeltisinde bekletilen harçların hacımca su emme değeri her iki seride de kül miktarının artmasıyla artmaktadır. Sülfat çözeltisinde 4'cü kür haftasında her iki seri harcın hacımca su emmesi aynı kül yüzdelerinde birbiri ile çok yakındır. Oysa 12'ci kür haftasında M serisinde %20 ve %30 küllü harçlarda kılcallık kat-sayısı şahit harç ve 4'cü kür haftasına göre azalmıştır.

Su ve sülfat çözeltisinde bekletilen harçların hacımca su emme değeri Şekil 4-23 de karşılaştırıldığında şu sonuç ortaya çıkmıştır:



Şekil 4-23. Su ve Sülfat Çözeltisinde Bekletilen Harçların Hacımca Su Emme Değerinin 4 ve 12'ci Kür Haftalarında Kül Miktarı ile Değişimi

Su içinde bekletilen M serisi harçların, genel-olarak 4 ve 12'ci kür haftalarında ve sülfat çözeltisinde bekletilen harçların 4'cü kür haftasında, hacımca su emme değeri kül miktarının artmasıyla artmaktadır. 12'ci kür haftasında sülfat çözeltisinde bekletilen harçlarda ise eğrinin genel gidişinde azalma görülmüştür. Yani, %20 ve %30 M serisi külleri harçların 12'ci kür haftasında hacımca su emme değerinin şahit ve 4'cü kür haftasına göre azaldığı görülmüştür.

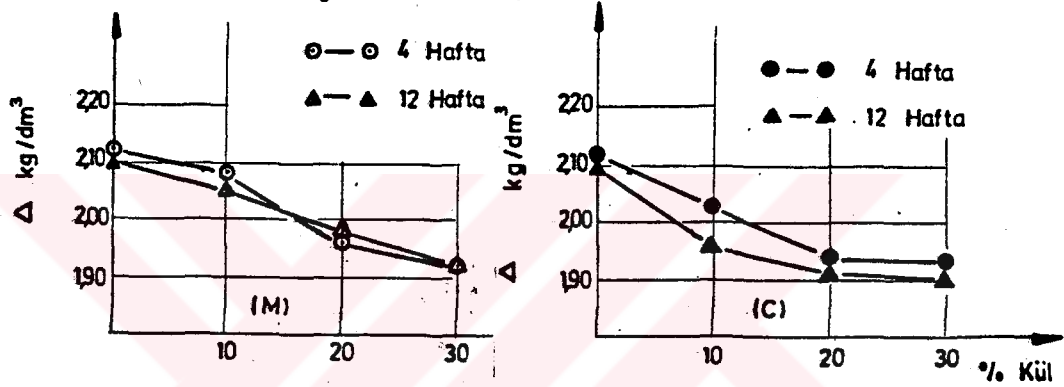
Şekil 4-23 de C serisi harçların hacımca su emmesi incelendiğinde, ise şu sonuçlar görülmüştür:

Küllü harçların tümünün (%10-30) hacımca su emme değeri, 4 ve 12'ci kür haftalarında, su ve sülfat çözeltisinde, şahit harca göre

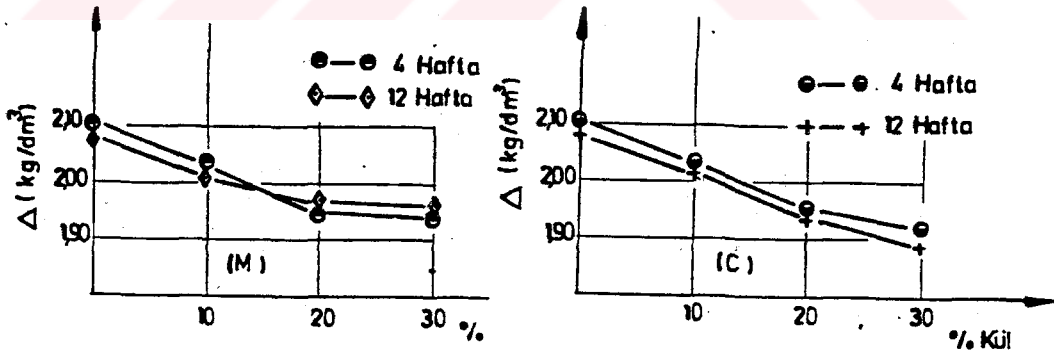
artmıştır.

Birim ağırlık deneyi sonuçlarının değerlendirilmesi ve irdelenmesi:

Harçların birim ağırlığının, su içinde ve sülfat çözeltisinde zamanla değişimi incelenmiştir. Su içinde bekletilen harçların birim ağırlıklarının kül miktarı ile değişimi Şekil 4-24 de, sülfat çözeltisinde bekletilenlerinki ise Şekil 4-25 de çizilmiştir. Şekil 4-26 da ise, harçların birim ağırlıklarının kül miktarı ile değişimi su ve sülfat çözeltisine göre karşılaştırılmıştır.

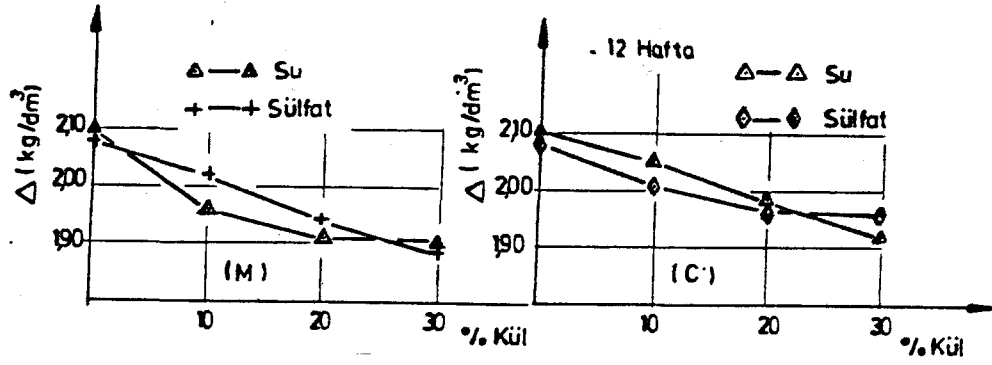


Şekil 4-24 Su İçinde Bekletilen Harçların Birim Ağırlıklarının Kül Miktarı ve Kür Süresi ile Değişimi



Şekil 4-25 Sülfat Çözeltisinde Bekletilen Harçların Birim Ağırlıklarının Kül Miktarı ve Kür Süresi ile Değişimi

Bu şekillerin incelenmesinden kül miktarının artmasıyla birim ağırlığın şahit harca göre azaldığı görülür. Burada külün özgül ağırlığının çimentoya göre düşük olması (Tablo 2-5) küllü harcın birim ağırlığının düşmesine neden olmaktadır. Birim ağırlık, su ve sülfat



Şekil 4-26 Harçların 12 Haftalık Kür Sonundaki Birim Ağırlıklarının Kül Miktarı ile Değişiminin Su ve Sülfat Çözeltisine Göre Karşılaştırılması

çözeltisinde zamanla çok belirgin şekilde değişmemiştir. Ayrıca su ve sülfat çözeltisinde saklanan harçlar da birbirine göre değişmemektedir.

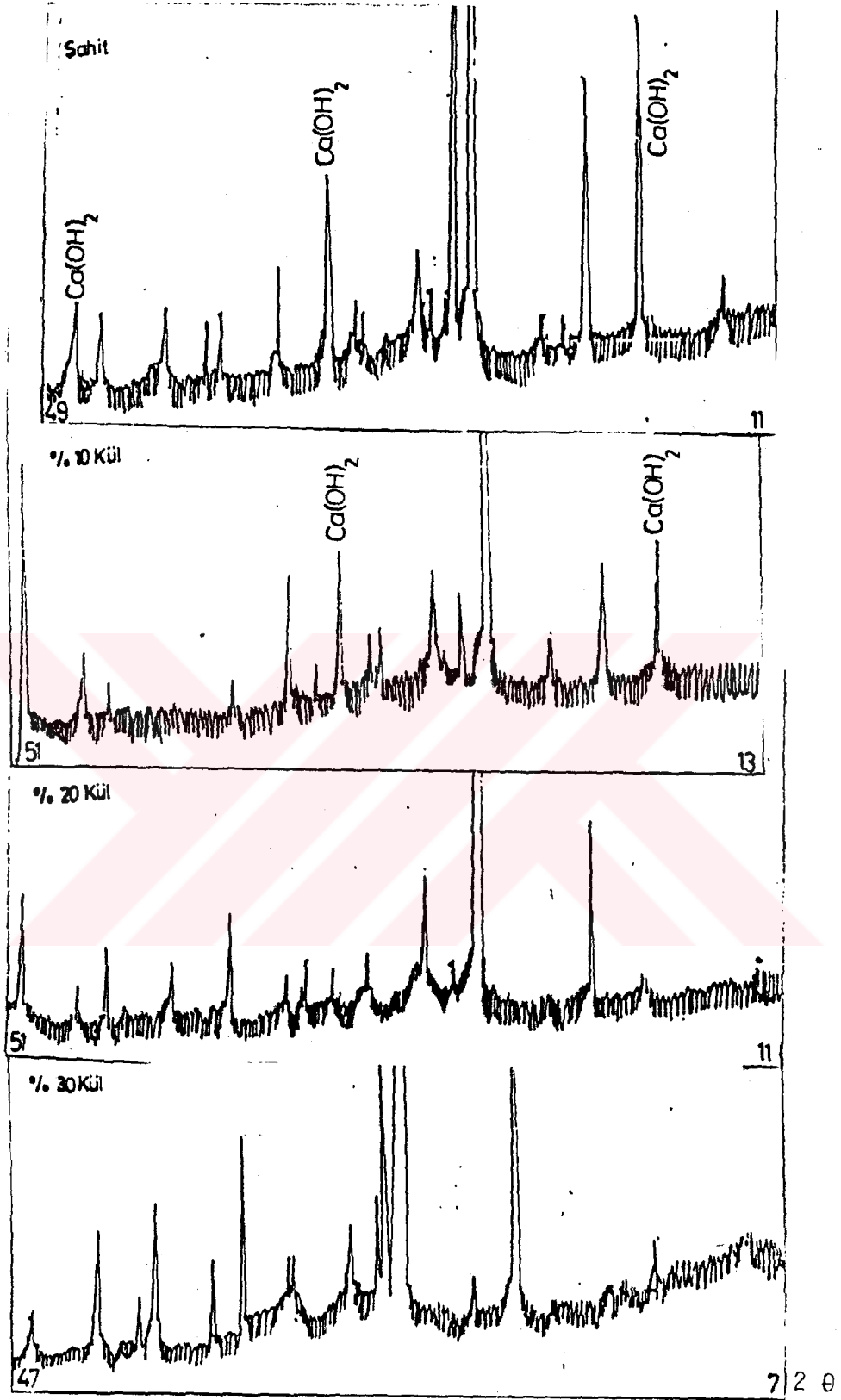
4.3.2.2. Mikroyapı İncelemesinin Değerlendirilmesi ve İrdelenmesi

Su içinde ve sülfat çözeltisinde 12 hafta bekletilen M ve C serisi harçlarda sertleşmiş harç deneyleri yapıldıktan sonra harçlar öğütülmüştür. Toz halindeki harçlarda X-Işını Difraktometresi ile mikroyapı incelenmiştir. Bu numunelerden sülfat çözeltisinde bekletilenlerden M serisinin, Elektron Mikroskobunda fotoğrafları kaydedilmiştir.

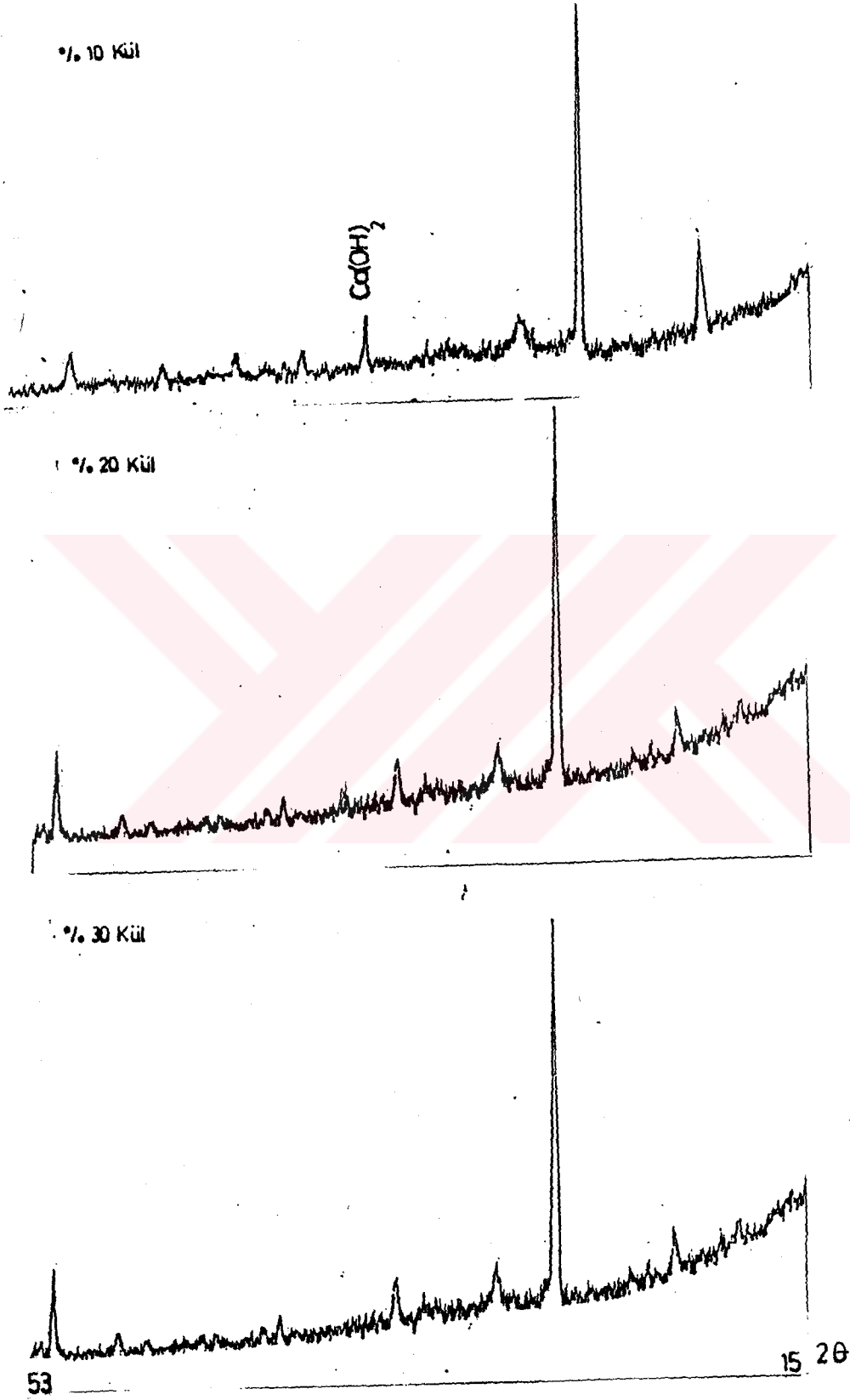
X-Işını Difraktometresi incelemesinin değerlendirilmesi ve irdelenmesi:

Su içinde bekletilen harçlardan M serisinin difraktogramları Şekil 4-27 de, C serisinininki ise Şekil 4-28 dedir. Sülfat çözeltisinde bekletilen harçların ise, M serisinin difraktogramı Şekil 4-29 da C serisinininki de 4-30 dadır. Bu difraktogramların incelenmesinden çıkarılan sonuçlar şöyle sıralanabilir:

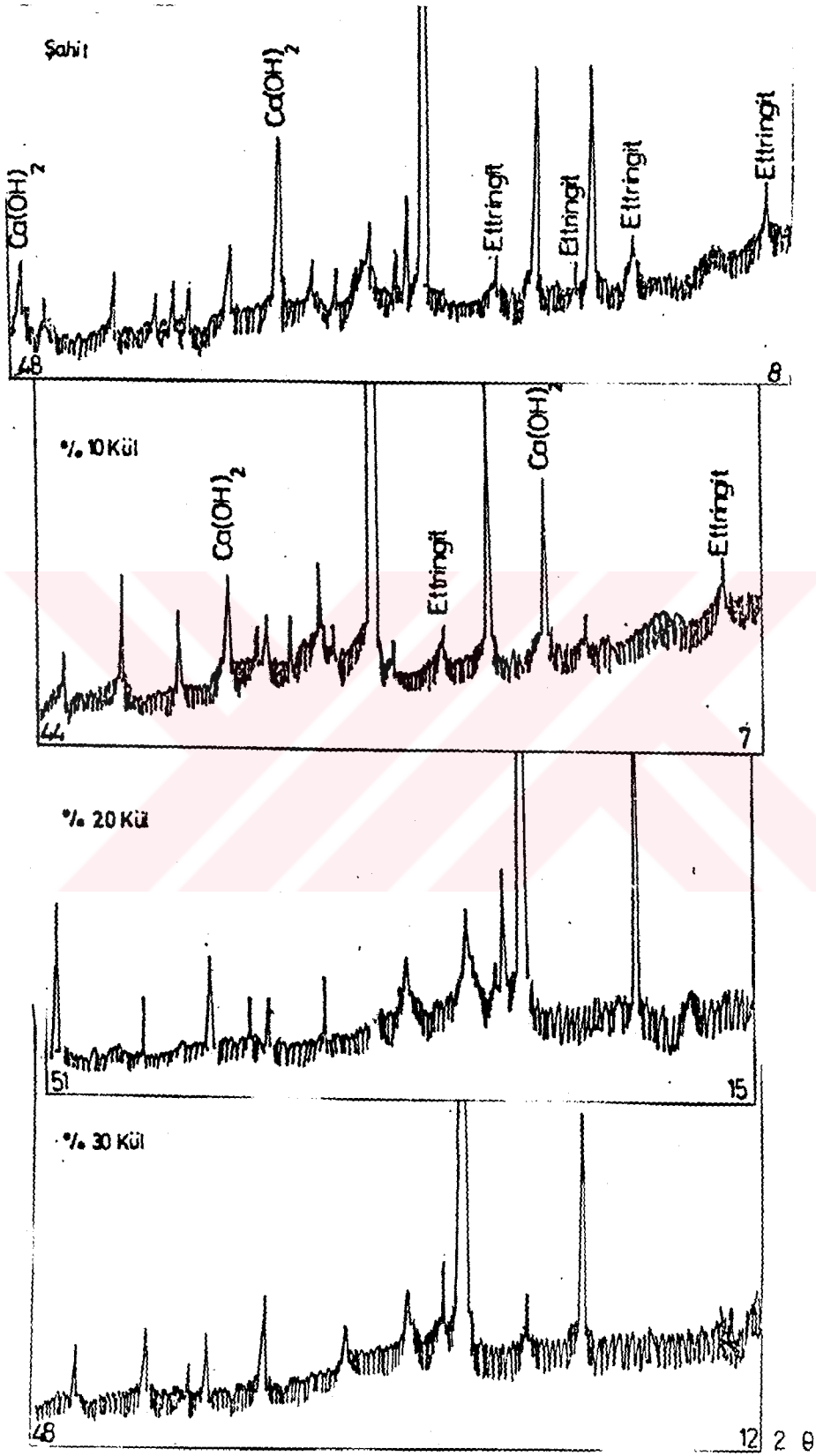
1- Su içinde bekletilen harçlarda portlandit (Ca(OH)_2) şahit harçta ve %10, 20 küllü harçlarda gittikçe azalan miktarlarda



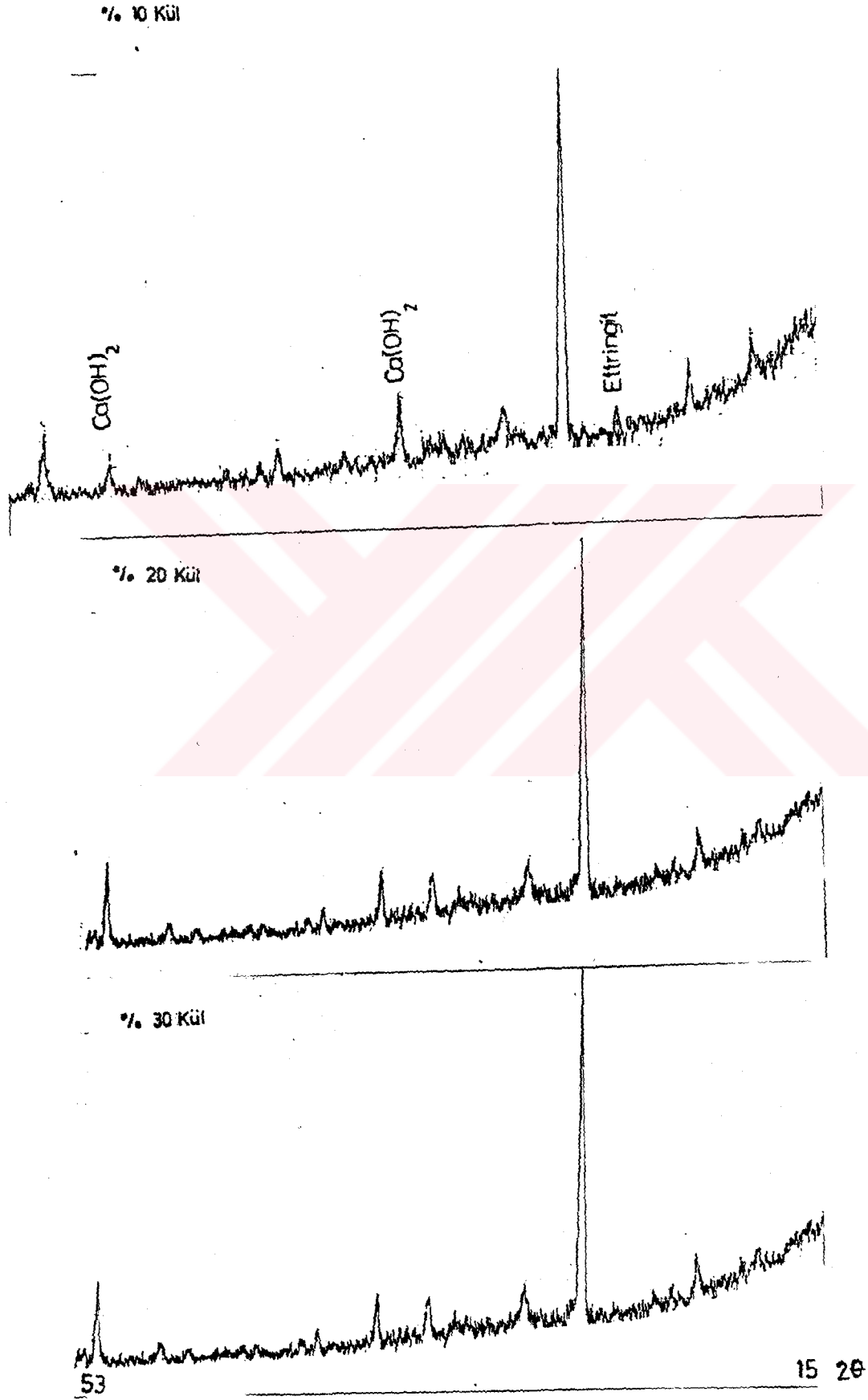
Şekil 4-27 Su içinde Bekletilen Şahit ve M Serisi Harçların Difrakto-gramları (12 Hafta)



Şekil 4-28 Su içinde Bekletilen C Serisi Harçların Difraktogramları
(12 Hafta)



Sekil 4-29 Sülfat Çözeltisinde Bekletilen Şahit ve M Serisi Harçların Difraktogramları (12 Hafta)



Şekil 4-30 Sülfat Çözeltisinde Bekletilen C Serisi Harçların Difraktogramları (12 Hafta)

görülmüştür. %30 küllü harçlarda ise portlandite rastlanmamıştır. Bu bulgu, küllü harçlarda kül miktarının artmasıyla çimentonun hidrasyonu sonucu oluşan Ca(OH)_2 'in küldeki amorf silis tarafından bağlanmış olduğunu göstermektedir.

2- Sülfat çözeltisinde bekletilen harçlardan şahit ve %10 küllülerde ettringit, portlandite birlikte görülmüştür. %20, 30 küllü harçlarda ise ettringit pikine rastlanılmadığı gibi portlandit de görülmemiştir.

3- Su ve sülfat çözeltisinde bekletilen harçların difraktogramlarında kül miktarının artmasıyla Ca(OH)_2 'in azaldığı görülmüştür. Ayrıca, sülfat çözeltisinde kalan harçlarda da su içinde kalanlardan farklı olarak ettringit piki oluşmuştur. Sonuç olarak bu bulgular, pirinç kabuğu külünün su ve sülfat çözeltisinde bekleyen harçlarda Ca(OH)_2 'i bağlayarak ve sülfat çözeltisinde de ettringit'in oluşumunu engelleyerek külün yararlı etkisini ortaya çıkarmıştır.

Elektron Mikroskopu (S.E.M.) incelemesinin değerlendirilmesi ve irdelenmesi:

Sülfat çözeltisinde bekletilen harçların mikroyapısını incelemek için elektron mikroskopu ile de çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalarla, X-Işını Difraktogramlarında görülen kristallerin (Portlandit, Ettringit) varlığı elektron mikroskopu ile de kanıtlanmak istenmiştir. Ek-4.1 - 4.4 'de verilmiştir. Ek'deki fotoğraflar incelendiğinde difraktogramlardaki ettringit ve portlandite rastlanamamıştır. Ancak, elektron mikroskopu çalışmaları, toz numuneler üzerinde ve az sayıda yapılmıştır. Harçlardaki kristallerin görülemeyişinin nedeni, numunelerin toz halde oluşuna ve/veya yeterli sayıda çalışma (=fotograf) olmayışına bağlanabilir.

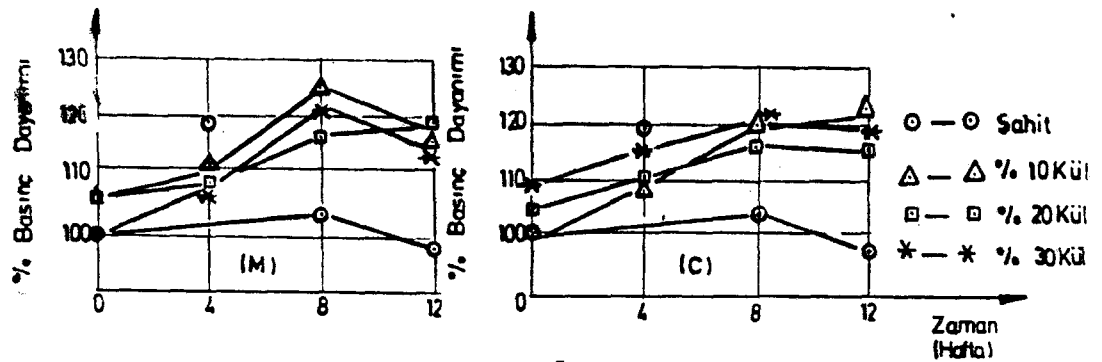
4.3.3. Dayanım Değişiminin Değerlendirilmesi ve İrdelenmesi

Sülfat çözeltisinde bekletilen harçların dayanıklılığı, kararlılık ve boşluk durumuna göre değerlendirildikten sonra dayanım yönünden de değerlendirilip irdelenmiştir. Bu harçların basınç ve eğilme dayanımı Tablo 3-3'dedir. Tabloya göre çizilen grafiklerin değerlendirilmesi sırası ile aşağıdadır.

4.3.3.1. Basınç Dayanımı Değişimi

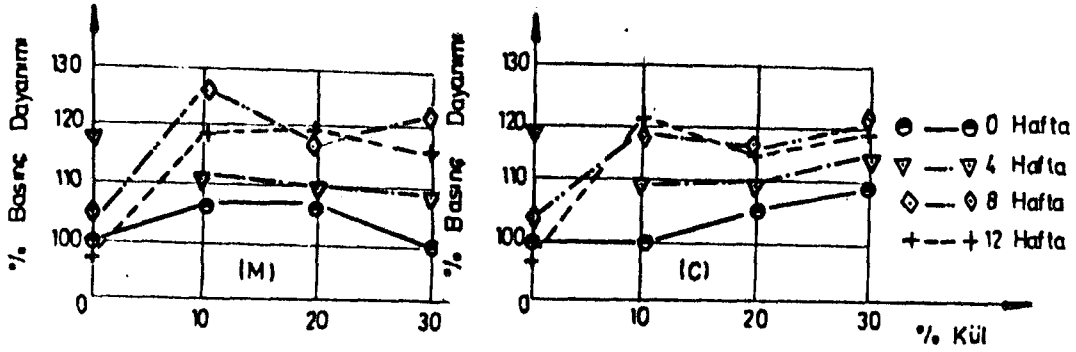
Bu bölümde sülfat çözeltisinde bekletilen harçların basınç dayanımlarının zamanla ve kül miktarı ile değişimi incelenmiştir. Ayrıca, 0-12 haftalık basınç dayanımının kül miktarı ile değişimi, kabuk yakma sıcaklığına ve suya göre karşılaştırılmıştır.

M ve C serisi harçların basınç dayanımının zamanla değişimi Şekil 4-31'de, kül miktarı ile değişimi Şekil 4-32'dedir. Bu şekillerin incelenmesinden çıkarılan sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.



Şekil 4-31 Sülfat Çözeltisinde Bekleyen Harçların Basınç Dayanımının Zamanla Değişimi

1- Şahit harçta basınç dayanımı azalması, 12'ci kür haftasında görülmektedir. Külü harçlar ise dayanım kaybetmemiş ve şahit harçtan



Şekil 4-32 Sülfat Çözeltisinde Bekleyen Harçların Basınç Dayanımının Kül Miktarı ile Değişimi

daha yüksek basınç dayanımı göstermiştir. Yani bir başka deyişle küllü harçlar sülfat çözeltisinde dayanım kazanmaya devam etmiştir.

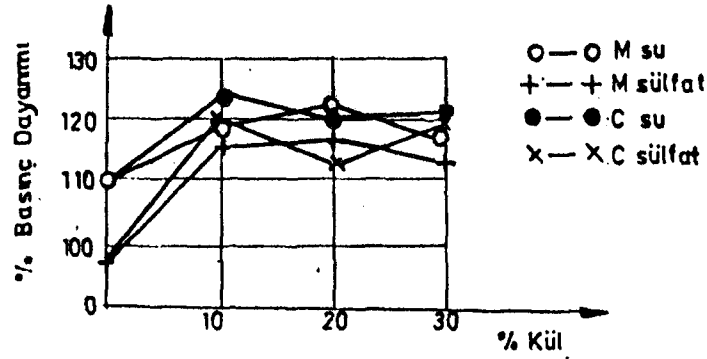
2- Küllü harçlarda en etkin kül oranı, genelde tüm yaşlarda belirgin olarak ortaya çıkmamıştır.

3- Sülfat çözeltisinde bekletilen küllü harçlarda, 8'ci kür haftasına kadar basınç dayanımı artmakta, bu haftadan sonra ise sabitleşme eğilimi göstermektedir. Bu bulgu, su içinde bekleyen küllü harçların basınç dayanımında da görülmüştür.

12'ci kür haftasındaki harçların basınç dayanımının kül miktarına göre değişimi Şekil 4-33 de çizilmiştir. Bu şekilde, basınç dayanımının değişimi, M ve C serisine ve su içinde bekletilenlere göre karşılaştırılmıştır.

Bu şekilden çıkarılan sonuçlar şöyledir:

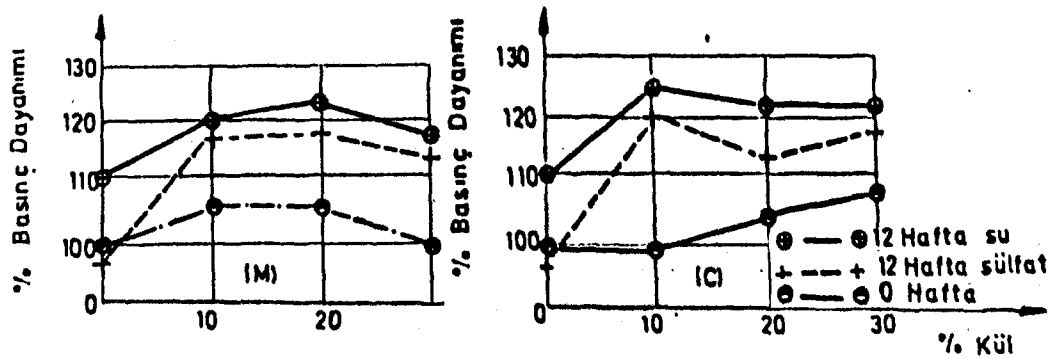
1- Şahit harç, 12'ci kür haftasında sülfat çözeltisinde dayanım kaybetmiştir, küllü harçların dayanımı ise şekilde (Şekil 4-33) görüldüğü gibi belirgin bir şekilde değişmemiştir. Yani, 12'ci hafta da su içinde bekletilen şahit harcın basınç dayanımı %110 iken, aynı sürede sülfat çözeltisinde %98'e inmiştir. Oysa küllü harçların her ikisinin basınç dayanımı, aynı sürede su içinde bekleyenlerde %119-125, sülfat çözeltisindekilerde ise %116-121 dir.



Şekil 4-33 12'ci Kür Haftasında Harçların Basınç Dayanımının Kül Miktarı ile Değişiminin M-C ve Su-Sülfata Göre Karşılaştırılması

2- 12'ci kür haftasında, sülfat çözeltisinde bekletilen küllü harçların basınç dayanımı M ve C ye göre değişmemiştir. Bu bulgu aynı sürede su içinde bekletilen harçların basınç dayanımında da görülmüştür. Ayrıca kül miktarının artması ile basınç dayanımı da belirgin bir şekilde değişmemiştir.

M ve C serisi harçların sülfat çözeltisindeki basınç dayanımı, suya göre karşılaştırılmıştır. Bu amaçla başlangıçta (0) ve 12'ci kür haftasındaki basınç dayanımlarının kül miktarı ile değişimi Şekil 4-34 de çizilmiştir.

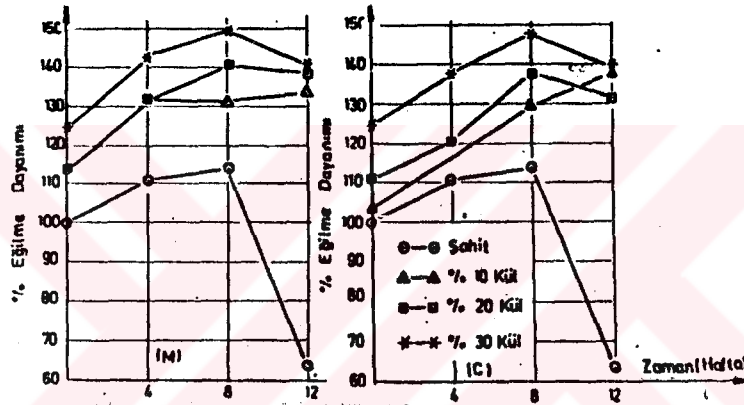


Şekil 4-34 Su ve Sülfat Çözeltilerinde Bekletilen Harçların 0 ve 12'ci Kür Haftalarında Basınç Dayanımının Kül Miktarı ile Değişimi

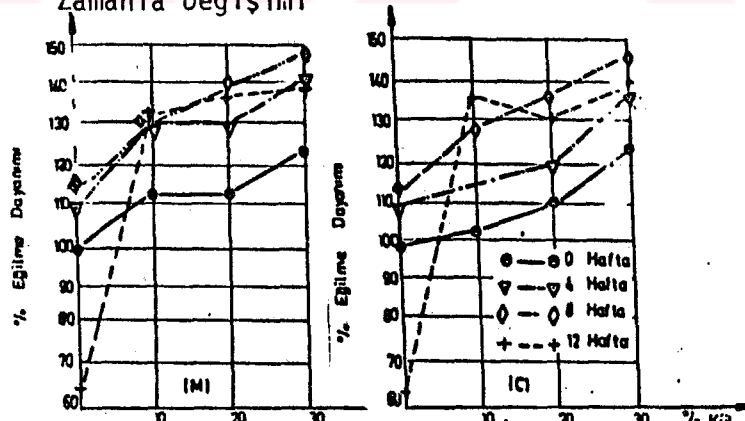
Bu şekilde, 12'ci kür haftasında her iki serinin sülfat çözeltisindeki basınç dayanımının suya göre bir miktar dayanım kaybettiği görülmüştür.

4.3.3.2. Eğilme Dayanımı Değişimi

Sülfat çözeltisinde bekletilen harçların eğilme dayanımı Tablo 3-3'dedir. Bu tabloya göre M ve C serisi harçların eğilme dayanımının, zamanla değişimi Şekil 4-35'de, kül miktarı ile değişimi ise Şekil 4-36'da çizilmiştir.



Şekil 4-35 Sülfat Çözeltisinde Bekletilen Harçların Eğilme Dayanımının Zamanla Değişimi



Şekil 4-36 Sülfat Çözeltisinde Bekletilen Harçların Eğilme Dayanımının Kül Miktarı ile Değişimi

Bu şekillerin incelenmesinden şu sonuçlar çıkarılmıştır.

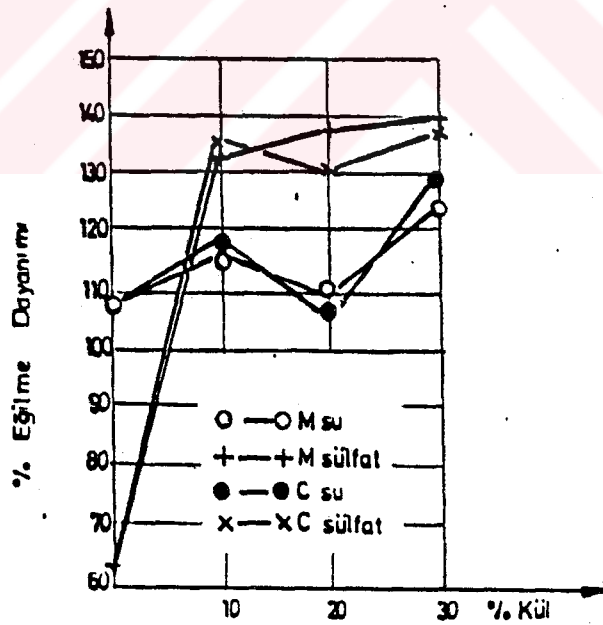
1- Şahit harçda eğilme dayanımı 8'ci kür haftasından sonra belirgin bir şekilde azalarak %64'e inmiştir. Külü harçlarda eğilme dayanımı, her iki seride ve üç kül katkı oranında şahit harçdan daha

büyüktür. Küllü harçların eğilme dayanımındaki artış, genelde bütün kür yaşlarında ortaya çıkmıştır.

2- Küllü harçların eğilme dayanımının, kül miktarının artmasıyla arttığı ve en yüksek dayanımın her iki kül serisinde de %30 kül katkı oranında olduğu görülmüştür.

3- Küllü harçlarda eğilme dayanımı, 8'ci haftaya kadar artmıştır. Ancak 8'ci haftadan sonra eğilme dayanımı sabitleşme eğilimi göstermiştir. Bu bulgu su içinde bekletilen küllü harçların eğilme, basınç dayanımında ve sülfat çözeltisinde bekletilen küllü harçların basınç dayanımında da görülmüştür.

Sülfat çözeltisinde kürlenen harçların eğilme dayanımının kül miktarı ile değişimi, M ve C serisine ve su içinde kürlenen harçlara göre Şekil 4-37 de karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma 12'ci kür haftasında yapılmıştır.



Şekil 4-37 12'ci Kür Haftasında Harçların Eğilme Dayanımının Kül Miktarı ile Değişiminin M-C ve Su-Sülfata Göre Karşılaştırılması

Bu şekilden çıkarılan sonuçlar şöyledir:

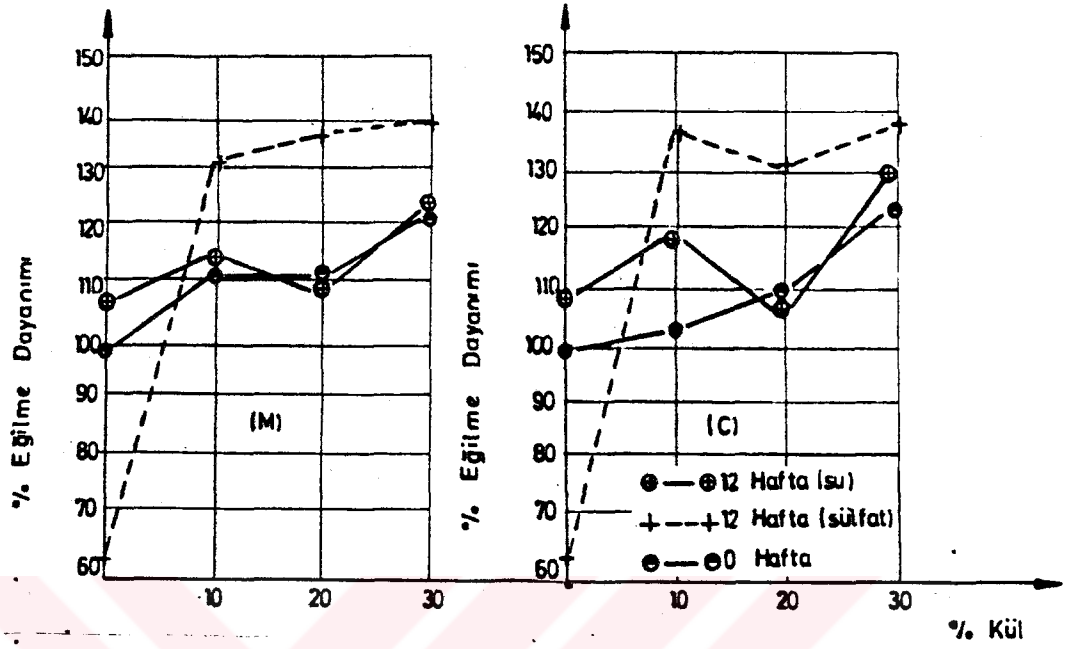
1- Şahit harcın, sülfat çözeltisinde, 12'ci kür haftasındaki eğilme dayanımı küllü harçlara göre daha azdır. Bir başka deyişle, şahit harcın eğilme dayanımı su içinde %109 iken, sülfat çözeltisinde bu değer %64 olmuştur. Yani, şahit harç sülfat çözeltisinde, suya göre dayanım kaybetmiştir.

2- 12'ci kür haftasında, sülfat çözeltisinde bekletilen küllü harçların eğilme dayanımı M ve C'ye göre değişmemiştir. Bu bulgu aynı sürede su içinde bekletilen harçların eğilme dayanımında da görülmüştür. Ancak, aynı şekilde sülfat çözeltisinde bekletilen küllü harçların eğilme dayanımının, su içinde bekletilen küllü harçların eğilme dayanımından yüksek olduğu görülür. Literatürde, sülfatlı ortamda saklanan harçların eğilme dayanımının, su içinde saklanan harçlara göre yüksek olabileceği belirtilmekte ve bunun, boşluklarda oluşan kristallerden ileri gelebileceği kaydedilmektedir [4,100].

Sülfat çözeltisinde bekletilen M ve C serisi harçların eğilme dayanımı, su içinde bekletilenlerle karşılaştırılmıştır. Bu nedenle başlangıç (0) ve 12'ci kür haftalarındaki eğilme dayanımlarının kül miktarı ile değişimi Şekil 4-38 de çizilmiştir.

Bu şekilde, sülfat çözeltisinde bekletilen M ve C serisi harçların eğilme dayanımının, su içinde bekletilenlere göre yüksek olduğu görülmektedir.

Araştırmada, küllü harçlar sülfat çözeltisinde 12 hafta bekletilmiştir. Bu süre içinde küllü harçların gerek dayanımı, gerekse dayanıklılığı büyük ölçüde değişmemiştir. Ancak, bu süreden sonra dayanım ve dayanıklılıkta nasıl bir durum oluşacağı hakkında birşey söylemek mümkün değildir. Bu araştırmada yapılan dayanıklılık ve dayanım deneylerinin sonucuna göre, pirinç kabuğu külünün sülfatlı ortamda, çimentonun hidratasyonu sonucu oluşan Ca(OH)_2 bağlayarak, ettringit oluşumunu engellediği; dayanımı azaltmadığı hatta onu arttırarak harcın servis ömrünü uzatdığı söylenebilir.



Şekil 4-38 Su ve Sülfat C z ltilerinde Bekletilen Harçların 0 ve 12'ci K r Haftalarında Eğilme Dayanımının Kül Miktarı ile Değişimi

BÖLÜM 5. SONUÇLAR

Bu araştırmada yapılan deneysel çalışmalara göre elde edilen sonuçlar, aşağıdaki gibi özetlenebilir.

1- Taze Harç Özellikleri ile İlgili Sonuçlar:

Taze harçlarda yayılma özelliği, kül miktarının artması ile azalmaktadır.

2- Sertleşmiş Harç Özellikleri ile İlgili Sonuçlar:

a) Su içinde bekletilen pirinç kabuğu küllü harçların her ikisinde de eğilme ve basınç dayanımı şahit harca göre daha büyüktür.

b) Su içinde bekletilen pirinç kabuğu küllü harçların eğilme dayanımında %30 küllü harçlarda maksimum dayanım elde edilmiştir. Oysa, aynı harçların basınç dayanımında, maksimum basınç dayanımı veren kül miktarı belirlenmemiştir.

c) Su içinde bekleyen her iki seri harcın eğilme ve basınç dayanımları birbirine çok yakındır. Kabuk yakma sıcaklığı 400^o ve 500^oC, küllerin dayanımında bir fark oluşturmamıştır.

3- Dayanıklılık ile İlgili Sonuçlar:

- Kararlılık yönünden sonuçlar:

Ağırlık değişiminin sonuçları

a) Harçlarda kül miktarının artmasıyla birim ağırlık azalmaktadır.

b) Su içinde bekleyen küllü ve şahit harcın ağırlık değişimi ağırlık artışı şeklindedir. Şahit harcın ağırlık artışı, küllü harçlara göre çok fazladır.

c) Sülfat çözeltisinde bekleyen harçlardan şahit harçta zamanla ağırlık artışı, küllü harçlarda ise ağırlık azalması görülmüştür. Bu ağırlık azalması, kül miktarının ve kabuk yakma sıcaklığının artmasıyla artmakta ve 8'ci haftadan sonra sabitleşme eğilimi göstermektedir.

d) Su ve sülfat çözeltisinde bekletilen şahit harcın her ikisinde de ağırlık artışı görülmüştür. Ancak su içinde bekleyen şahit harçta 12'ci haftadaki ağırlık artışı %01,2 iken aynı sürede sülfat çözeltisindeki ağırlık artışı %07,3 olmuştur. Küllü harçlarda, su içinde bekleyenlerde ağırlık artışı, sülfat çözeltisinde bekleyenlerde ağırlık azalması görülmüştür.

e) Havada bekleyen harçlarda zamanla ağırlık azalması görülmektedir. Kül miktarının artması ve kabuk yakma sıcaklığının artması ile ağırlık azalması da artmaktadır. Ancak 12'ci haftadan sonra genelde tüm harçlarda eğrinin azalan gidişinde artış görülmektedir.

Boy değişiminin sonuçları

a) Su içinde bekletilen tüm harçlarda boy artışı birbirine benzer şekilde ve az miktardadır.

b) Sülfat çözeltisinde bekletilen tüm harçlarda boy artışı görülmüştür. Şahit harçdaki boy artışı süreklidir ve gittikçe artan miktardadır. Küllü harçların boy artışı ise kül miktarının artmasıyla azalmaktadır. Ayrıca, kabuk yakma sıcaklığı 400° olan küllü harçlarda boy artışı, 500°C lik küllü harçlara göre daha fazla olmuştur.

c) Sülfat çözeltisinde bekletilen harçlar, su içinde bekletilenlerle karşılaştırıldığında; sülfat çözeltisindeki şahit harcın boy artışı suya göre çok farklı ve oldukça büyüktür. Yani şahit harcın 12'ci kür haftasında su içindeki boy artışı $30 \times 10^{-3} \mu/\text{mm}$. sülfat çözeltisinde ise $1072 \times 10^{-3} \mu/\text{mm}$ dir. Oysa su içinde ve sülfat çözeltisinde bekletilen küllü harçların boy artışı, şahit harçdaki kadar çok farklı ve büyük miktarlarda olmamıştır. Kabuk yakma sıcaklığına göre küllü harçlar karşılaştırıldığında ise, sülfat çözeltisinde bekletilenler arasında boy artışı yönünden fark görülürken, su içinde bekletilen küllü harçlardan

iki seri arasında bir fark görülmemiştir.

- Boşluk durumu yönünden sonuçlar

Kılcallık, su emme, birim ağırlık sonuçları

a) Su içinde bekletilen tüm harçlarda, kılcallık katsayısı, kül miktarının artmasıyla artmıştır.

b) Sülfat çözeltisinde bekletilen harçlarda kül miktarının artması ile kılcallık katsayısı artmaktadır. Ancak her iki seride %30 küllü harçlarda 12'ci kür haftasında kılcallık katsayısının şahit harca ve zamana göre azaldığı görülmektedir. Kılcallık katsayısı, su ve sülfat çözeltisine göre karşılaştırıldığında ise sülfat çözeltisinde bekletilen harçların kılcallık katsayısının suya göre daha büyük olduğu görülmüştür.

c) Su içinde bekletilen küllü harçların genelde hacımca su emme değeri kül miktarının artmasıyla artmaktadır. Sülfat çözeltisindeki küllü harçların hacımsa su emme değeri de su içindeki küllü harçlara göre artış göstermiştir.

d) Birim ağırlık, kül miktarının artmasıyla azalmıştır. Ancak, birim ağırlık hem su içinde hem de sülfat çözeltisinde bekletilen harçlarda zamanla belirgin bir şekilde değişmemiştir.

- Mikroyapı incelemesi sonuçları

a) X-Işını Difraktogramlarında su içinde ve sülfat çözeltisinde bekletilen şahit ve %10 küllü harçlarda Ca(OH)_2 görülmüştür. Sülfat çözeltisinde bekletilen aynı harçlarda ise Ca(OH)_2 'in yanısıra ettringit de belirlenmiştir. Su ve sülfat çözeltisinde bekletilen %20, 30 küllü harçlarda ise Ca(OH)_2 ve ettringit'e rastlanmamıştır.

b) Elektron mikroskobu çalışmalarındaki fotoğraflarda kristaller gözlenememiştir.

- Dayanım değişimi açısından

a) Sülfat çözeltisinde bekletilen şahit harçda eğilme ve basınç dayanımı, 8'ci kür haftasından sonra azalmaktadır. Küllü harçların eğilme ve basınç dayanımı ise 8'ci haftaya kadar artmaya devam etmiş ve 8'ci haftadan sonra sabitleşme eğilimi göstermiştir. Küllü harçlardaki bu bulgu, su içinde bekleyen numunelerde de grlmştir.

b) Sülfat çözeltisinde bekletilen tüm harçlarda, su içinde saklanan harçlara göre basınç dayanımında azalma grlmştir, ancak şahit harçta dayanım azalması daha fazla olmuştur. Yani, 12'ci kür haftasında su içinde saklanan şahit harcın basınç dayanımı %110 iken, sülfat çözeltisindeki dayanım %98'dir. Aynı kür haftasında, su içinde saklanan küllü harçlarda ise basınç dayanımı %120-125, sülfat çözeltisinde saklananlarda %116-120 olmuştur.

3- Sülfat çözeltisinde bekletilen harçlardan şahit harcın eğilme dayanımı, 12'ci kür haftasında %64, aynı sürede su içinde bekletilen şahit harcın eğilme dayanımı %110 dur. Oysa küllü harçların eğilme dayanımı sülfat çözeltisinde %130-140 iken, su içinde %115-120 dir. Yani sülfat çözeltisinde bekletilen küllü harçların eğilme dayanımı suya göre azalmamış tam tersine artış göstermiştir.

Nihai Sonuç:

Bu çalışmanın sonunda, pirinç kabuğu külünün silis dumanına yakın, uçuşu kl, cüruf ve trasdan daha yüksek oranda amorf silis içerdiği grlmştir. Özellikle %20,30 küllü harçların, Na_2SO_4 'lı ortamdan etkilenmediği ve külün harcın servis ömrünü uzattığı ortaya çıkmıştır.

Külün kimyasal ortama dayanıklı beton üretiminde yararlı şekilde kullanılma olanağı bulunduğu bu çalışma ile ortaya konduğundan pirinç kabuklarının yakılıp öğütülmesi ve elde edilen külün bu şekilde kullanıma sunulması tavsiye edilir. Bu çalışmada kullanılmış olan küçük fırındaki koşullar yeterli miktarda kl elde etmeğe uygun

olmadığından hareketli bant sistemi gibi sürekli bir sistemle çalışacak daha büyük verimli bir fırın geliştirilmesi de ayrıca önerilir.

İleriye Öneriler:

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar gözönüne alınarak ilerde aşağıdaki araştırmaların yapılması uygun olacaktır.

1- Pirinç kabuğu külü ile üretilen harç ve/veya betonlar, Na_2SO_4 dışında farklı agresif çözeltilerde bekletilerek, pirinç kabuğu külünün bu çözeltiler karşısındaki davranışı da incelenmelidir. Dayanıklılık deneylerinde 6 ay veya daha fazla sürede harç ve/veya betonun özelliklerinin değişimi araştırılmalıdır.

2- Pirinç kabuğu külünün harçların kılcallığı poroziteyi ne şekilde ettiği, boşluk yapısı ve dağılımı daha detaylı araştırılmalıdır.

3- Araştırmada küllü harçların korrozif ortamda ağırlık kaybetmesinin nedeni, mikroyapı analiz yöntemleri ile aydınlatılmaya çalışılmalıdır. Mikroyapı da oluşan değişiklikler, korrozif ortamda kür başlangıcından itibaren sık zaman aralıklarında araştırılmalıdır. X-Işını Difraktometresi ve Elektron mikroskobu ile mikroyapı daha detaylı incelenmelidir.

4- Korrozif ortamda saklanan pirinç kabuğu küllü beton veya harçların bulunduğu çözeltideki iyonların cinsi ve miktarının zamanla değişimi, kimyasal analizle saptanmalı; bu çalışmalar, ayrıca mekanik deneylerle birlikte değerlendirilmelidir.

5- Doğal şartlara uygun daha düşük konsantrasyonlu ve çok uzun süreli deneyler yapılması düşünülmelidir.

KAYNAKLAR

- [1] GARIBOLDI, F., BARTHA, P., MEHTA, P.K., "Optimizing tech. rice husk utilization" Rice-By-Product Conf. Valencia, Spain, 1974 pp.99-103
- [2] COOK, J., "Using rice husk for making cement like materials" Appropraite Technology Vol.6 No.4, 1980 pp 9-11
- [3] COOK, J., "Alternative cements based on agricultural residues" First Int. Cong. On Tech. For Develop Camberra, 1980 pp. 222-225
- [4] NEVILLE, A.M., "Properties of concrete" Pitman Publishing, 1977
- [5] POSTAÇIOĞLU, B. "Bağlayıcı maddeler, Agregalar, Beton" Cilt 1, 1986
- [6] LEA, F.M., "The Chemistry of Cement and Concrete", Newyork, 1956
- [7] BLANKS, R.F., KENNEDY, H.L., "The technology of cement and concrete" Vol 1. USA, 1955
- [8] MEHTA, P.K., "Puzzolanic and cementitious by products as mineral admixtures for concrete" Fly ash, silica fume, slag and other mineral by-products in concrete Vol 1 ACI SP 79, 1983 pp 1-46
- [9] MEHTA, P.K., "Concrete Structure, properties and materials" Prentice-Hall Inc., 1986
- [10] ERGUVANLI, K., "Mühendislere Jeoloji" İTÖ, Maden Fakültesi, İstanbul, 1983
- [11] AITCIN, P.C., "Condensed Silica Fume" Univ.de Sherbrooke Canada, 1983
- [12] AKMAN, S., "Beton teknolojisinde silika fume kullanılması" Malzeme Seminerleri, 1985, 175-200
- [13] ÖZTURAN, T., "Yüksek mukavemetli beton teknolojisi" Malzeme Seminerleri, 1984, 171-182
- [14] NEVILLE, A.M., BROOKS, J., "Concrete technology" Longman, 1987
- [15] SURAMA, M.S., JOSHI, S.N., "Spectrophotometric method for estimating the reactivity of puzzolanic materials" Advances in Cement Research, Vol 1, No.4, October 1988, pp 238-242
- [16] CALLEJA, J., "Doğal maddelerde puzzolanik aktivitenin çabuk ve kolay analizinde kondüktometrik metodun kullanımı"

Puzzolanlı Çimento Semineri, Türkiye Çim.Müst.Birliği
Ankara, Mayıs, 1989

- [17] BIDIN,R., NGEE,C.C., YEOH,A.K., PING,C.B., "Rice husk cement"
Standarts Industrial Research Institute of Malaysia
(=Sirim) Malaysia, 1984
- [18] TEREM,H.N., "Anorganik Sınai Kimya" İ.O. Yayın No 1817, Kimya
Fak. No. 12, İstanbul, 1973
- [19] KWAME,A., "Studies of black silica produced under varying condi-
tions" Ph.D. Thesis California, 1975
- [20] İBRAHİM,M. HELMY,M., "Cyristallization growth of RHA silica",
Termocihimica Acta. 45, 1981, pp 79-85
- [21] JAMES;J., RAO,S., "Characterization of Silica rice husk ash"
American Seramic Bull. 68, 8, 1976, pp 177-80
- [22] ÜZDEMİR,i., "Genel Anorganik ve Teknik Kimya", İTÖ Matbaa Teknis-
yenleri Basımevi, İstanbul, 1981, 924
- [23] JAMES,J.RAO,S., "Silica from rice husk through thermal decompo-
sition" Termocihimica Acta, 97, 1986, pp 329-336
- [24] ÜLMEZ,H., "Endüstriyel, tarımsal atıkların çimento üretiminde de-
ğerlendirilmesi" Ondokuz Mayıs Üniversitesi Yayınları
47, Fen-Edebiyat Fakültesi, Samsun, 1988
- [25] D.i.E. Tarımsal Yapı ve Üretim, 1980-1986
- [26] VISVESVARAYA,H.C., "Recycling of agricultural wastes with special
emphasis on rice husk ash" Use of vegetable plants and
fibres as building materials Joint Symposium Rilem/CIB/
NCCL, Baghdad, October, 1986, pp 1-22
- [27] SHAH,R.A., KHAN,A.H., CHAUDRY,M.A., "Utilization of RHA for the
production of cement like materials in rural areas",
Proc. Unido/Escap/RCTT Workshop on RHA Cements, Pakistan
1979, pp 150-57
- [28] HOUSTON,D.F., "Rice Chemistry and technology" American Association
of Cereal Chemists Inc. St. Paul, Minnesota, 1972
- [29] BARTH,P., HUPPERTZ,E.A., "Structure and crystallization of silica
in rice husk" Rice by-products Conf. Valencia, Spain,
1974, pp 89-98
- [30] COOK,J., "Rice-husk ash cement" their development and application,
Australia, 1984
- [31] BEAGLE,E.C., "Rice husk conversion to energy", FAO Agricultural
Services bulletin 31, Food and Agricultural Organisation
of the United Nations, Rome, 1978
- [32] NEMUTLU,S., "Çeltik kapçığı betonu araştırmaları" İmar ve İskan
Bakanlığı Yayınları No 5-16, Ankara, 1963

- [33] MEHTA, P.K., "The chemistry and technology of cements: rice husk ash made from rice husk ash" Proc. Unido/Escap/RCTT workshop on rice husk ash cement, Peshawar, Pakistan, 1979, pp 113-122
- [34] DASS, A., "Puzzolanic behaviour of rice husk ash" Building Research and Practice V 12, N 5, September-October, 1984, pp 307-311
- [35] ALKHALAF, M.M., YOUSIFF, H.A., "Use of rice husk ash in concrete" The Int. J. of Cem. Comp. and Light Weight Concrete V 6, N 4, 1984, pp 241-48
- [36] SHAH, R.A., KHAN, A.H., CHAUDRY, M.A., "Utilization of rice husk ash for the production of cement-like materials in rural areas" Proc. Unido/Escap/RCTT Workshop on RHA Cements Pakistan, 1979, pp 150-57
- [37] SOORIYAKUMARIN, R., ISMAIL, M.G., M.U., "Rice hull ash cement" Proc. Unido/Escap/RCTT Workshop on RHA Cements, Pakistan, 1979, pp 57-60
- [38] JAMES, J., RAO, S., "Reactivity of rice husk ash" Cement and Concrete V 16, N 3, 1986, pp 296-302
- [39] COOK, J., PAMA, R.P. and DAMER, S.A., "The behaviour of concrete and cement paste containing rice husk ash" Proc. Conference on Hydraulic Cement Paste, University of Sheffield 1976, pp 268-82
- [40] MEHTA, P.K., PITT, N., "Energy and industrial materials from crop residues" Resource Recovery and Conserv. 2, 1976, pp 23-28
- [41] COOK, D.J. and SUWANVITAYA, P., "Properties and behaviour of lime-RHA" CIB-RILEM, Nairobi, 1983, 831-45
- [42] HAXO, H.E., MEHTA, P.K., "Ground rice-hull ash as a filler for rubber" Rubber Chemistry and Technology V 48, N 2, May-June, 1975, pp 271-88
- [43] MEHTA, P.K., "Properties of blended cement made from RHA" ACI Journal, September, 1977 pp 440-42
- [44] NATALINI, M.B., PERIN, M.S.F., GAUTO, O., MAYER, R.A., GOMEZ, G.M., "Portland cement cellular composite material with organic and inorganic particles" Use of vegetable plants and fibres as building materials Joint Symposium Rilem/CIB/NCCL, Baghdad, October, 1986 pp 79-84
- [45] CRI Technology Digest "CRI Rice husk ash mesonry binder-RHAM Cement Research Institute of India, July, 1982
- [46] CRI Technology Digest "CRI Rice husk ash masonry cement, RHAM Part 1, Cement Research Institute of India,

- [47] CRI Technology Digest "CRI Rice husk ash masonry cement RHAM Part 2, Cement Research Institute of India July, 1982
- [48] ANUCHITA, K., "A study on using the rice husk ash as a strength contributing filler in portland cement" Thailand, November, 1981
- [49] ÇAVUŞOĞLU, C., "Puzzolanların Klinker ve alçı taşı ile birlikte öğütülmesinin veya öğütülmüş halde çimentoya katılmasının çimento özelliklerine etkisi" Bitirme Ödevi, İTÜ İnşaat Fak. 1988
- [50] CHOPRA, S.K., "Workshop on exchange on experience and technology transfer in the utilization of agro-waste material for making cement like materials in the escap region" Proc. UNIDO/ESCAP/RCTT, India, Peshawar, January, 1979
- [51] SHAH, R.A., "Large scale production of rice-husk cement problems and remedies" Proc. UNIDO/ESCAP/RCTT Follow-up Meeting in Rice-Husk Cement, Alor Setar, Malaysia, 1979
- [52] KARASUDHI, P., NIMITYONGSKUL, P., "Use of rice husk ash as building materials in Thailand" Div. of Structural Engineering and Construction Asia Institute of Tech. Bangkok, Thailand, 1979, pp 123-34
- [53] NIMITYONGSKUL, P., LOO, Y.C., YOKO, T., "Shear strengths of RHA concrete beams" Low-Cost and energy saving construction materials Rio de Janeiro, Brazil, 1984, pp 95-105
- [54] SULAIMAN, M., MANSOOR, N., KHAN, K., "Experimental and demonstration low cost house built with RHA and lime as cement". Building Research Station, Karachi, Pakistan, 1983, pp 107-16
- [55] COOK, J., PAMA, R.P., PAUL, B.K., "RHA-lime cement mixes for use in masonry units" Building and Environment, V.12, 1977, pp 281-88
- [56] HAJELA, R.B., GUPTA, R.G., "Rice husk utilization in brick and tile manufacture" Use of vegetable plants and fibres as building materials Joint Symposium Rilem/CIB/NCCL Baghdad, October, 1986 pp 41-52
- [57] KACHACHI, J., RAOUF, Z.A., "The use of rice husks for the improvement of the quality of local bricks in Iraq" Use of vegetable plants and fibres as building materials Joint Symposium Rilem/CIB/NCCL Baghdad, October, 1986 pp 61-68
- [58] RAHMAN, M.A., "Properties of clay-sand-RHA mixed bricks" The International Journal of Cement Composite and Light weight Concrete V 9, N.2 May, 1987, pp 105-08
- [59] RAHMAN, M.A., "Use of RHA in sandcrete blocks for masonry units" Materials and Structures V 20, 1987 pp 361-66

- [60] RAHMAN, M.A., "Effect of RHA on the properties of bricks made from fired lateritic soil-clay mix" *Materials and Structures* V 21, 1988, pp 222-27
- [61] SALAZ, J., ALVERAZ, M., VERAS, J., "Rice husk and fly ash concrete blocks" *The International Journal of Cement Composite and Lightweight Concrete* V 9, N 3, August 1987 pp 177-82
- [62] BINDRA, S.P., KHADEYWI "Use of husk ash as filler in bituminous mixtures" *Use of vegetable plants and fibres as building materials Joint Symposium Rilem/CIB/NCCL Baghdad, October, 1986* pp 29-36
- [63] ASTM E 632-81 Standard practice for developing accelerated tests to aid prediction of the service life of building components and materials American Society for Testing Materials, Philadelphia, PA, 1982
- [64] MOSKVIN, V., "Concrete and reinforced concrete deterioration and protection" MIR Publishers, USSR, 1983
- [65] AKMAN, S., "Yapı Malzemeleri" İTÜ İnşaat Fak. Ders Notları 1987
- [66] UYAN, M., "Beton ve harçlarda kılcallık olayı" Doktora tezi, İTÜ İnşaat Fak., 1977
- [67] GÖNER, A., AKMAN, S., "The influence of addition of blast furnace slag on the corrosion resistance of concrete" Third international conference on the durability of building materials and component. Technical Research Centre of Finland, Espoo V 3, 1984, pp 14-25
- [68] AKMAN, S., YILDIRIM, M., "Loss of durability of concrete made from portland cement blended with natural" pozzolans due to ammonium nitrate" *Durability of Building Materials*, 4, 1987, pp 357-69
- [69] COHEN, M.D., BENTUR, A., "Durability of portland cement silica fume pastes in magnesium sulfate and sodium sulfate solutions" *ACI Journal*, V 5, N 3, May-June, 1988 pp 148-57
- [70] MALHOTRA, V.M., "Supplementary cementing materials for concrete" Canmet, Canada, 1987
- [71] JENNINGS, H.M., "Design of high strength cement based materials: Part 2 Microstructure" *Materials Science and Technology*, V 4, April 1988, pp 285-90
- [72] LAFUMA, H., "Theorie de L'expansion des liants hydrauliques" *Revue des Matériaux de Construction et de Travaux Publics*, N 243, December 1929, pp 441-44
- [73] CARRETE, J.C., "Dayanıklılık" Pozzolanlı Çimento Semineri Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği Ankara, Mayıs, 1989

- [74] MASSAZZA, F., "Dayanıklılık" Pozzolanlı Çimento Semineri Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği Ankara, Mayıs, 1989
- [75] SWAMY, R.N., "Concrete technology and design" New Concrete Materials, V 1, Surrey University Press, 1983, pp 146-149
- [76] MEHTA, P.K., "Rice hull ash cement-High quality acid resisting" ACI Journal, May 1975 pp 235-36
- [77] MEHTA, P.K., "Technology alternatives for the use of rice husks" Appropriate Technology V 9, N 4, 1983, pp 7-9
- [78] SMITH, R.G., KAMWANJA, G.A., "The use of rice husks for making a cementitious material" Use of vegetable plants and fibres as building materials Joint Symposium Rilem/CIB/NCCL Baghdad, October 1986, pp 85-94
- [79] MEHTA, P.K., POLIWKA, M., "Use of highly active pozzolans for reducing expansion in concretes containing reactive aggregates" ASTM STP 597, American Society for Testing and Materials 1976, pp 25-35
- [80] MEHTA, P.K., PIRTZ, D., "Use of rice hull ash to reduce temperature in high-strength mass concrete" ACI Journal, February 1978, pp 60-63
- [81] KHAN, M.H., MOHAN, K., TAYLOR, H.F.W., "Pastes of tricalcium silicate with rice husk ash" Cement and Concrete Research V 15, 1985, pp 89-92
- [82] JAMES, J., RAO, S.M., "Reaction product of lime and silica from rice husk ash" Cement and Concrete Research V 16, 1986, pp 67-73
- [83] TS 24 Çimentonun fiziksel muayene metodları, 1978 TSE, Ankara
- [84] TS 819 Rilem-Cembureau Standard Kumu, 1976
- [85] TS 687 Portland çimentoları kimyasal analiz metodları, 1985
- [86] MAZLUM, F., "Çimentonun kimyasal analizinde kompleksometrik yöntemin TS 687 ile karşılaştırılarak uygulanması" Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği Çimento Bülteni Cilt 20, Sayı 187, Ocak 1983, 3-11
- [87] TS 19 Portland Çimentoları, 1979
- [88] ERDEM, B., BAYKUT, F., "Analitik Kimya" 10 No 1554, Kim.Fak. No 4, İstanbul, 1970
- [89] TS 25, Tras, 1975
- [90] TS 639 Uçucu küller, 1975

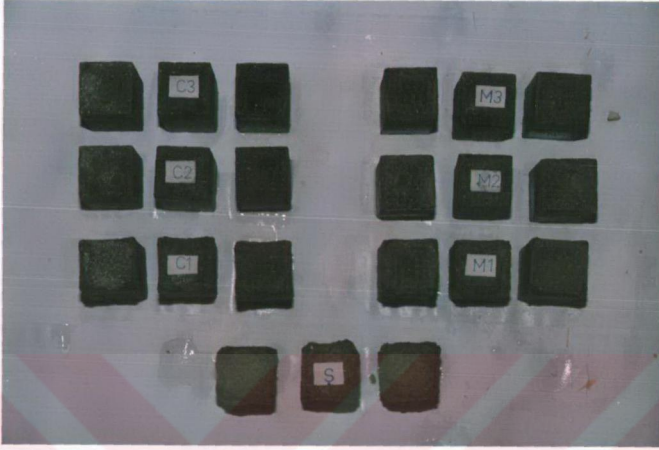
- [91] TS 26 "Traslı Çimento", 1983
- [92] TS 2848 Kargir Duvar Harçları, 1977
- [93] BS 4550, Part 2, Chemical tests "Pozzalanicity test for pozzolanic cements", 1970, pp 37-40
- [94] HUŞ,S., "Orman Mahsülleri Kimyası", i.O. No 1188 Or.Fak. 105, İstanbul, 1966
- [95] BERKEM,A.R., "Modern Fizikokimya" i.O. Sayı 1779, Kimya Fakültesi No: 10, İstanbul, 1972
- [96] MEHTA,P.K., "Evaluation of sulfat resisting cements by a new method" ACI Journal, 1975, pp 573-75
- [97] FRAAY,A., REIGERSMAN,A., PEE,J., "Sulfate resistance of mortars with pulverized fuel ash" Concrete Durability ACI, V 1, SP 100-104, 1987, pp 2041-58
- [98] BERKEM,A.R., "Atomistik ve Çekirdek Kimyası", i.O. No 1440, Kimya Fak. No 1, İstanbul, 1969
- [99] YUAN,E., COOK,J., WU,D.K., "Sulfate resistance of fly ash concrete" The technology of concrete, When puzzolans slags and chemical admixtures are used MEXICO, 1985, pp 529-42.
- [100] PIESTA,J., SAWICZ,Z., PIESTA,W.G., "Durability of high alumina cement pastes with mineral additions in water sulfate environment" Cement and Concrete Research V 19, 1989, pp 103-13



EK.1 LPG ile çalışan kabuk yakma fırını

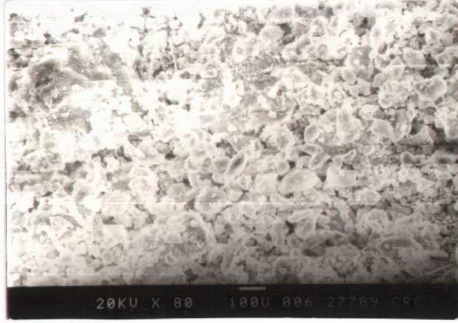


EK.2 Numunelerin Na_2SO_4 etkisinde bırakıldığı düzenek

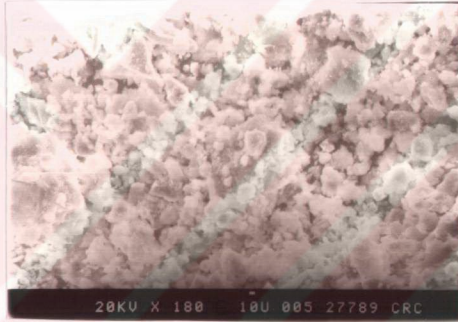


EK.3 Sülfat çözeltisinde bekletilen harçların görünüşü

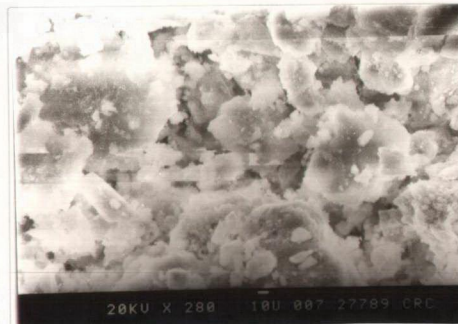
500 büyütme



1000 büyütme

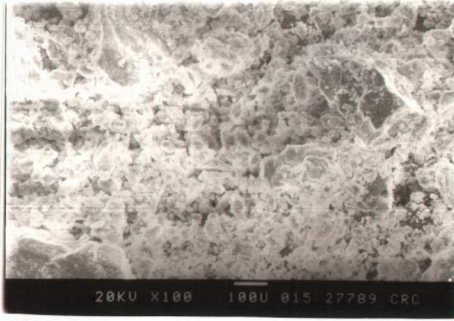


2000 büyütme

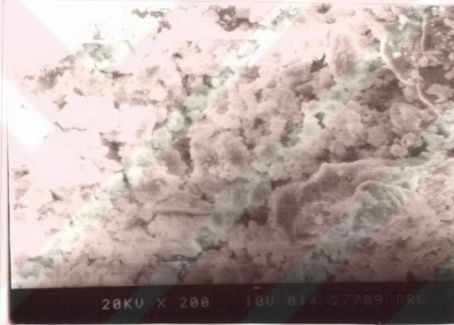


EK.4.1 Sülfat çözeltisinde bekletilen şahit harcın SEM fotoğrafları

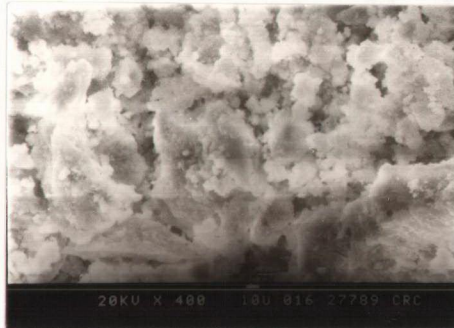
500 büyütmə



1000 büyütmə

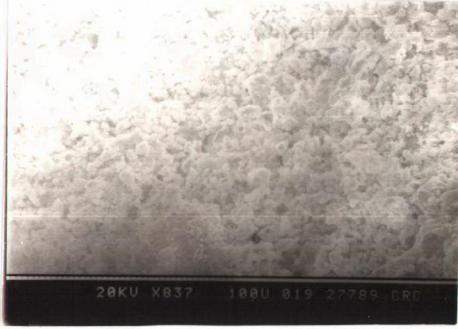


2000 büyütmə

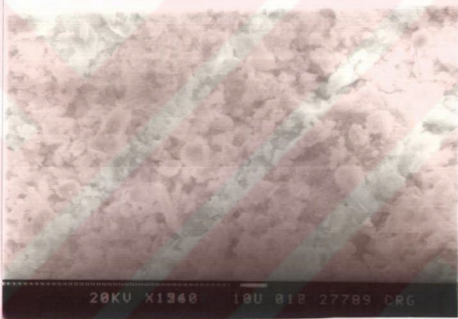


EK.4.2 Sülfat çözeltisinde bekletilen %10 küllü harcın SEM fotoğrafları

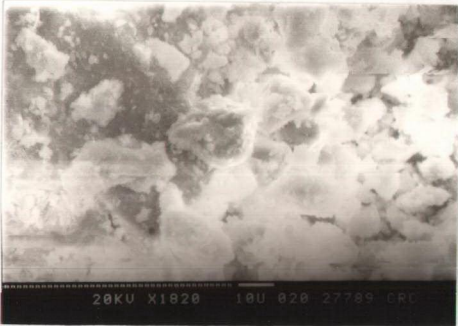
500 büyütme



1000 büyütme

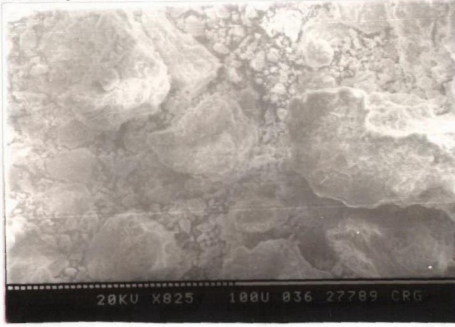


2000 büyütme



EK.4.3. Sülfat çözeltisinde bekletilen %20 küllü harcın SEM fotoğrafları

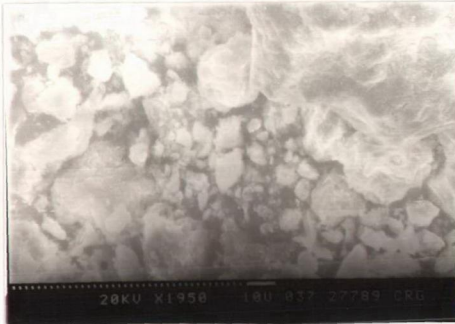
500 büyütme



1000 büyütme



2000 büyütme



EK.4.4 Sülfat çözeltisinde bekletilen %30 küllü harcın SEM fotoğrafları

ÖZGEÇMİŞ

Fahriye MAZLUM 1953 yılında Kayseri'de doğdu. İlköğrenimini, Göztepe Pansiyonlu İlkokulu'nda 1964 de, orta öğrenimini Erenköy Kız Lisesi'nde 1970 de tamamladı.

1971 yılında girdiği İ.T.O. Kimya Fakültesi Kimya Yüksek Mühendisliği Bölümünü 1976 yılında bitirdi. 1977-1982 yılları arasında Nuh Çimento San A.Ş.de Laboratuar Şefi olarak görev yaptı. 1982 yılında İ.T.O. İnşaat Fakültesi Yapı Malzemesi Çalışma Grubu'na girdi. Halen aynı birimde Araş.Gör. olarak çalışmaktadır.

YAYINLARI

- 1- Fosforik asit projesi, Proje Ödevi, İ.O. Kimya Fakültesi Haziran 1976
- 2- 'Çimentonun kimyasal analizinde kompleksometrik yöntemin TS 687 ile karşılaştırılarak uygulanması" Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği, Çimento Bülteni, Cilt 20, sayı 87, Ocak 1983, sayfa 3-11
- 3- "Çimentoprizini etkileyen katkı maddelerinin oluşturduğu kimyasal ürünler" Malzeme Seminerleri, İTÜ İnşaat Fak., 1983 sayfa 99-115
- 4- "Donma-çözünmede kimyasal tuzların temperatür şoku etkisi" Malzeme Seminerleri, İTÜ İnşaat Fak., 1984, sayfa 155-71
- 5- "Traslı çimentoların kullanım alanları" Teknik rapor, İTÜ İnşaat Fak., No.46, 1987 (Bekir Postacıoğlu ve Mehmet Uyan ile birlikte)
- 6- "Polimer malzemelerin kimyası" Malzeme Seminerleri, İTÜ İnşaat Fak., 1987 (yayınlanmadı)
- 7- "Başlangıç aşamasında çimento su karışımlarında sıvı fazın iyon bileşimindeki değişimler" 5'ci Mühendislik Haftası, Akdeniz Üniversitesi, 1988 (Fikret Türker ve Güleren Özkan ile birlikte)
- 8- "Sunî puzzolanlar ve pirinç kabuğu külü" Malzeme Seminerleri İTÜ, İnşaat Fak., 1988 (yayınlanmadı)
- 9- "Türkiye pirinçlerinden elde edilen kapçık küllerinin puzzolanik özellikleri" Araştırma Projesi Nihai Raporu, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Aralık, 1988
- 10- "Malzemenin mikro yapısının malzeme özelliklerine etkisi" Malzeme Seminerleri, İTÜ İnşaat Fak., 1989 (yayınlanmadı)
- 11- "Zonguldak merkez lavvarı atıklarının deniz kirlenmesine etkisi ve alınacak tedbirlerin araştırılması" İTÜ İnşaat Fak., Çevre Mühendisliği Bölümü, Ekim, 1989. (Mehmet Karpuzcu ile birlikte)